



Hinc patriam sustinet

**Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa**



Análise da variabilidade espaço-temporal da produtividade de milho numa parcela na região da Golegã

Vasco Maria Tareco Brito Paes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Doutor Pedro Jorge Cravo Aguiar Pinto

Co-orientador: Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga

Júri:

Presidente: Doutor Ernesto José de Melo Pestana de Vasconcelos, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutor Pedro Jorge Cravo Aguiar Pinto, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutor José Paulo Pimentel Castro Coelho, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutor José Rafael Marques da Silva, Professor Auxiliar da Universidade de Évora;

Doutor Ricardo Nuno da Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor Adjunto da Escola Superior Agrária de Elvas do Instituto Politécnico de Portalegre.

Lisboa, 2011

Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que me acompanharam ao longo deste percurso, e que de alguma forma me ajudaram neste trabalho, em particular:

Ao Professor Pedro Aguiar Pinto por ter aceitado orientar o trabalho em questão;

Ao Professor Ricardo Braga, pela disponibilidade que me foi prestada;

Ao Eng. Abílio Pereira e ao Sr. Luís Martins pela disponibilidade e pela transparência com que me forneceram os dados da parcela, sem os quais seria impossível a realização deste trabalho;

À Sra. D. M^a de Lurdes Marques, pela ajuda prestada no trabalho laboratorial.

Ao Francisco Mira, pela companhia e conselhos durante a elaboração da dissertação.

À Carolina e a todos os meus amigos que foram muito importantes neste meu longo período de estudo no Instituto Superior de Agronomia.

Aos meus pais, por me terem apoiado e por tudo o que me proporcionaram para o normal decorrer dos meus estudos.

A todos, o meu muito obrigado.

Resumo

A promessa da agricultura de precisão é possibilitar a um gestor agrícola gerir grandes áreas de cultura com o detalhe de quem gere uma horta ou seja gerir de forma eficaz e eficiente os recursos como só uma horta, em resultado da pequena dimensão, o permite. Este desígnio é extremamente oportuno no actual contexto das explorações agrícolas: produzir muito, com qualidade, a baixo custo e de forma ambientalmente sustentável.

Este trabalho dedicou-se ao estudo de um dos recursos base da agricultura de precisão: a carta de produtividade. Para que esta preciosa ferramenta se torne uma peça chave no processo de tomada de decisão, é necessário que a sua utilização seja correcta i.e. em primeiro lugar, que a carta de produtividade se apresente fidedigna e livre dos principais erros, e em segundo lugar, que a(s) carta(s) possa(m) ser manipulada(s) de forma a extrair dela(s) o máximo valor acrescentado possível.

Nesta tese investigaram-se métodos baseados em filtros para a eficaz eliminação dos principais erros existentes nos dados de monitorização das culturas. Os sucessivos filtros aplicados foram capazes de, ao eliminar cerca de 20 a 30% dos dados originais portadores de algum tipo de erro, permitir a construção de uma carta de produtividade mais correcta, fidedigna e com melhor grau de dependência espacial. Este passo é essencial para se poder utilizar uma carta de produtividade num processo de decisão.

Posteriormente, as cartas corrigidas encerram um potencial que deve ser explorado para que se tire delas o maior valor acrescentado possível. Assim, existem diversas operações de valorização das cartas de produtividade, desde a estatística descritiva da variabilidade, passando pela interpretação dos padrões de variabilidade, pelas cartas de produtividade relativa, pelas cartas de margem bruta, assim como pela análise espaço-temporal e de impacto da variabilidade que fornecem ao gestor agrícola uma mais-valia muito significativa no sentido de otimizar a gestão das suas parcelas.

Após avaliação económica, técnica e logística, a optimização da gestão das parcelas poderá passar pela aplicação diferenciada dos factores de produção com recurso às tecnologias VRT sendo para esse efeito importante, numa primeira fase, a identificação de zonas de manejo homogéneo. No caso concreto da parcela em estudo, um pivot na Golegã, identificou-se o stress hídrico como a causa provável de variabilidade espacial e perda de produtividade.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, produtividade, carta de produtividade, monitores de produtividade

Abstract

The promise of precision agriculture is to enable a farm manager to manage large areas of an agricultural crop with the detail with which one manages a garden that is to effectively and efficiently use resources as only a garden can, as a result of its small size. This goal is extremely timely in the current context of agriculture, since there is the need to produce very high quality service at low cost and in an environmentally sustainable manner.

This work was devoted to a study of a basic precision agriculture resource: the yield map. For this valuable tool will become a key part in the process of decision making, it is necessary that their use is correct ie firstly, that the yield map is accurate and free of major sources of error, and secondly, that yield map(s) can be manipulated in order to extract from the maximum added value.

In this thesis we investigated methods based on filters to effectively eliminate major errors in the data from yield monitor. The successive filters were able to remove about 20-30% of the original data having any type of error, and allow the construction of more accurate and reliable yield maps. Also that it allow for an increased spatial dependence. This step is essential in order to use yield map in the decision process.

Subsequently, the corrected yield maps have a potential, which should be exploited. Thus, there are several recovery operations of the yield maps, from the descriptive statistics of the variability, through the interpretation of patterns of variability, the relative productivity maps, the gross margin maps, as well as the spatio-temporal analysis and impact of variability that farm manager to provide a very significant added value in order to optimize the management of their plots.

After evaluating economic, technical and logistics, optimization of management of the plot may involve to the application of different production inputs using VRT technology. It is important for this purpose, initially, the identification of homogeneous management zones. In the case of the field that was studied, a center pivot in Golegã it was identified water stress as the cause of spatial variability and loss of productivity.

Key Words: Precision farming, productivity, yield maps, yield monitors

Índice

Agradecimentos	II
Resumo.....	III
Abstract.....	IV
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Quadros	X
1. Introdução	1
3. Revisão Bibliográfica	5
3.1 A cultura do milho	5
3.1.1 Estatísticas de produção, preço e auto-aprovisionamento	5
3.1.1 Botânica e fisiologia.....	10
3.1.3 Factores determinantes na produção de milho	13
3.2 Monitores de produtividade e tecnologias utilizadas na agricultura de precisão	17
3.2.1 Sistema de posicionamento global (GPS)	17
3.2.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	19
3.2.3 Detecção Remota.....	20
3.2.3 Condutividade eléctrica do solo	22
3.2.4 Monitores de produtividade	22
3.2.5 Tecnologia de taxa variável (VRT).....	26
3.3 Cartas de Produtividade, sua correcção e utilização	27
3.3.1 Filtragem dos dados do monitor de produtividade	27
3.3.2 Obtenção da carta de produtividade	28
3.3.3 Valorização da carta de produtividade.....	29
4. Material e métodos	32
4.1 Localização da Parcela	32
4.2 Caracterização climática e agrometereológica	32
4.3 Caracterização edáfica	35
4.4 Itinerário cultural e conta de cultura	35
4.5 Ceifeira e monitor de produtividade	37

4.6 Filtragem dos dados	37
4.7 Obtenção da carta de produtividade	39
4.8 Valorização da carta de produtividade	39
5. Resultados e Discussão	41
5.1 Filtragem dos dados	41
5.2 Obtenção da carta de produtividade	52
5.3 Valorização da carta de produtividade	53
5.3.1 Estatística descritiva da variabilidade	54
5.3.2 Grau de dependência espacial	59
5.3.3 Interpretação dos padrões de variabilidade.	59
5.3.4 Cartas de produtividade relativa	63
5.3.5 Cartas de margem bruta.....	64
5.3.6 Análise espaço-temporal	66
5.3.7 Análise de impacto da variabilidade	68
6. Conclusões	76
7. Bibliografia	78

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução temporal da área cultivada de milho grão, milho silagem e total em Portugal.	6
Figura 2 - Evolução da produção de milho em 2006-2010.....	7
Figura 3 - Distribuição por zonas geográficas da produção de milho no ano 2010.	7
Figura 4- Distribuição por zonas NUTS II da superfície de milho no ano 2010.	8
Figura 5 – Evolução do preço do milho em USD/ton nos últimos 15 anos.....	9
Figura 6 – Estados fenológicos da cultura do milho (Univ. Illinois Extension)	12
Figura 7 - Constelação de satélites 24 satélites que constituem o GPS.	18
Figura 8 - Esquema representativo do funcionamento de um SIG.....	20
Figura 9 - Monitor GreenStar 2630.	23
Figura 10 - Localização da parcela em estudo (área a vermelho). Fonte: Google Maps.	32
(Fonte: Instituto de Meteorologia, 2001).	33
Figura 11 - Diagrama Ombrotérmico de Gaussen relativo à normal 1971-2000.	34
Figura 12 - Diagrama Ombrotérmico de Gaussen relativo à precipitação e temperatura média do ano 2010.....	34
Figura 13 - Diagrama Ombrotérmico de Gaussen relativo á precipitação e temperaturas médias de 2011.....	35
Figura 14 - Aparelho de contagem de número de grãos.....	40
Figura 15 - Carta dos dados da produtividade em bruto para o ano de 2010.	41
Figura 16 - Carta dos dados da produtividade em bruto para o ano de 2011.	42
Figura 17 - Pormenor da carta dos dados da produtividade em bruto para o ano de 2010.....	42
Figura 18 - Carta de registos removidos pelo filtro 2 para o ano de 2010.....	43
Figura 19 - Carta de registos removidos pelo filtro 3 para o ano 2010.....	44
Figura 20 - Carta de registos removidos pelo filtro 4 para o ano de 2010.....	45
Figura 21 - Carta de registos removidos pelo filtro 5 para o ano de 2010.....	45
Figura 22 -Carta de registos removidos pelo filtro 6 para o ano de 2010.....	46
Figura 23 - Carta dos dados da produtividade após filtragem para o ano de 2010.	47
Figura 24 - Carta de registos removidos pelo filtro 2 para o ano de 2011.....	48
Figura 25 - Carta de registos removidos pelo filtro 4 para o ano de 2011.....	49
Figura 26 - Carta de registos removidos pelo filtro 6 para o ano de 2011.....	49
Figura 27 - Carta dos dados da produtividade após filtragem para o ano de 2011.	50

Figura 28 – Semivariograma dos registos em bruto da produtividade para o ano de 2010. Lag Distance em metros; Variograma em $(t/ha)^2$; Variância da amostra = $49,13 (t/ha)^2$	51
Figura 29 - Semivariograma dos registos em bruto da produtividade para o ano de 2011. Lag Distance em metros; Variograma em $(t/ha)^2$; Variância da amostra = $35,87 (t/ha)^2$	51
Figura 30 – Semivariograma dos registos da produtividade após filtragem para o ano de 2010. O modelo ajustado é do tipo exponencial.	52
Figura 31 – Semivariograma dos registos da produtividade após filtragem para o ano de 2011. O modelo ajustado é do tipo exponencial.	53
Figura 32 – Carta da produtividade para o ano de 2010.....	54
Figura 33 – Carta da produtividade para o ano de 2011.....	55
Figura 34 - Caixa de bigodes para a produtividade para os anos de 2010 e 2011.....	57
Figura 35 - Caixa de bigodes para a humidade dos grãos para os anos de 2010 e 2011.....	58
Figura 36 - Histograma da produtividade para 2010 após correcção.....	58
Figura 37 - Histograma da produtividade para 2011 após correcção.....	59
Figura 38 - Descontinuidade de rega entre a rampa pivotante e a cobertura total no ano de 2011.	60
Figura 39 – Vale onde se verifica uma produtividade mais elevada.....	61
Figura 40 - Zona onde houve falha na rega no ano de 2011	61
Figura 41 - Área sem aplicação de fósforo no ano de 2011.....	62
Figura 42-.Zonas com solo de textura mais arenosa.	62
Figura 43 - Carta da produtividade relativa para o ano de 2010.	63
Figura 44 - Carta da produtividade relativa para o ano de 2011.	64
Figura 45 - Carta da margem bruta (€/ha) para o ano de 2010.....	65
Figura 46 - Carta da margem bruta (€/ha) para o ano de 2011.....	66
Figura 47 - Carta da produtividade média para os anos de 2010 e 2011.....	67
Figura 48 - Carta da variação absoluta da produtividade entre os anos de 2010 e 2011.....	68
Figura 49 - Área sem aplicação de fósforo no ano de 2011.....	69
Figura 50 – Imagem aérea no visível obtida no dia 22 de Julho de 2011	70
Figura 51 - Imagem aérea no infravermelho próximo obtida no dia 22 de Julho de 2011	71
Figura 52 - - Imagem aérea de falsa-cor obtida no dia 22 de Julho de 2011	72
Figura 53 - - Carta NDVI obtida no dia 22 de Julho de 2011.	73

Figura 54 - Carta NDVI obtida no dia 22 de Julho de 2011 com as marcações dos pontos de “ground truth”	74
---	----

Índice de Quadros

Quadro 1- Valores da superfície (ha) das principais culturas anuais em Portugal no ano 2010. (Fonte: IFAP)	5
Quadro 2- Evolução temporal da área cultivada de milho grão, milho silagem e total em Portugal. (Fonte: IFAP)	6
Quadro 3 - Dados climatológicos (médias de 30 anos) para a estação meteorológica de Santarém.	33
Quadro 4 - Custos variáveis (€/ha) da cultura de milho em 2011.	37
Quadro 5 – Análise estatística descritiva dos dados não corrigidos para os anos de 2010 e 2011.	56
Quadro 6 - – Análise estatística descritiva dos dados corrigidos para os anos de 2010 e 2011.....	56
Quadro 7 – Componentes de produção e análise de crescimento para as zonas amostradas (3 m ²) segundo a carta de NDVI.	75

1. Introdução

No último século, ocorreram grandes evoluções no nosso planeta. A Revolução industrial foi uma delas e com a sua ajuda, a agricultura deixou de ser vista maioritariamente como uma actividade de mera subsistência e passou a ser encarada como uma actividade eminentemente empresarial. Uma das consequências desta alteração na gestão das explorações foi aumento da dimensão das parcelas como forma de diminuição dos custos unitários de produção. Por sua vez, o aumento da dimensão das parcelas conduziu uma maior eficiência do trabalho agrícola à custa de um menor detalhe quanto a variações espaciais das condições agroecológicas.

Passaram deste modo a ser comuns generalizações em larga escala de valores de médias das parcelas (nutrientes, água no solo, etc.). Ou seja, tornou-se impossível manter o mesmo detalhe de gestão numa parcela de 150 ha quando comparado com o que era habitual numa parcela de 1 ha ou menos. De facto, na altura (há 30 ou 40 anos) não existiam ferramentas que permitissem ao empresário gerir grandes áreas satisfazendo apenas as necessidades de cada zona em particular (Coelho et al. 2004). Pelo contrário, por exemplo no caso da fertilização, era e é recomendado que se faça uma amostra de terra representativa da totalidade da parcela que depois é analisada para produzir uma recomendação.

Aquele procedimento conduz na maioria das situações à existência de zonas da mesma parcela com excesso de aplicação de determinado factor de produção e outras com défice dessa mesma aplicação (Braga e Pinto 2012). A generalidade dos empresários apercebe-se que a variabilidade espacial das parcelas pode ser considerável quer ao nível dos solos, quer da topografia, quer ainda de aparecimento de pragas e doenças, por exemplo.

O advento da vulgarização da tecnologia GPS assim como de outras tecnologias como os SIG, os monitores de produtividade - equipamentos que permitem obter cartas de produtividade das parcelas (Braga 2009a) - ou ainda a tecnologia VRT (variable rate technology / tecnologia de taxa variável) - equipamentos que permitem variar a taxa de aplicação de factores de produção nas parcelas de acordo com zonas pré definidas (Braga 2009c; Serrano e Peça 2009) - ocorrida nos últimos 20 anos potenciou um novo sistema de cultura designado por Agricultura de Precisão (Braga e Pinto 2012).

A agricultura de precisão pode ser definida como gestão da variabilidade temporal e espacial das parcelas com o objectivo de melhorar o rendimento económico da actividade agrícola, quer pelo aumento da produtividade e/ou qualidade, quer pela redução dos custos de produção, reduzindo também o seu impacte ambiental e risco associado (Braga, 2009b). Deste modo, a agricultura de precisão, socorrendo-se de um determinado número de ferramentas, permite aumentar a margem bruta das parcelas agrícolas pelo aumento da

eficiência da aplicação de factores de produção, ajustando-os às necessidades da cultura em todas as zonas das parcelas. Neste intuito consegue ainda uma significativa redução do impacto ambiental da actividade agrícola.

Com recurso à agricultura de precisão torna-se, desta forma, possível gerir, de forma eficaz e eficiente, parcelas com grandes áreas. Ou seja, por um lado gerem-se parcelas de grandes dimensões, que se tornam economicamente mais viáveis, sem perder a capacidade de levar em consideração a variabilidade natural existente (Coelho et al 2009).

No actual contexto do sector agrícola torna-se, por um lado, obrigatório satisfazer um crescente aumento da necessidade de bens alimentares à escala global e por outro, produzir ao mais baixo custo para aumentar a competitividade da produção no mercado mundial. Assim, a agricultura de precisão surge como um sistema de cultura pertinente face aos actuais desafios das explorações agrícolas mundiais e, em particular, as portuguesas.

A adopção da agricultura de precisão em Portugal, sobretudo em culturas arvenses, é baixa, apesar de a divulgação se ter iniciado em 1996 (Serrano e Peça 1996). Segundo Braga e Pinto (2012) existem cerca de dez ceifeiras com equipamento de monitorização da produtividade a funcionar em Portugal. Noutros países, com os Estados Unidos à cabeça, a taxa de adopção, por exemplo dos monitores de produtividade, é de cerca de 40% da área de cereais colhida.

Os principais factores determinantes para a baixa taxa de adopção da agricultura de precisão parecem ser o nível de conhecimento informático necessário, a difícil percepção dos ganhos e a dificuldade de utilização dos equipamentos (Braga e Pinto, 2012).

A agricultura de precisão implica o maneio e a gestão de grandes quantidades de dados através de aplicações informáticas. Dada o baixo nível de conhecimento tecnológico da maior parte dos empresários agrícolas nacionais, aquele aspecto torna-se um sério entrave à sua adopção. Por outro lado, algumas aplicações informáticas e equipamentos também podem ser difíceis de utilizar para a maioria dos empresários. Esta situação torna-se ainda mais importante quando o suporte fornecido pelos fabricantes e prestadores de serviços é limitado.

Finalmente, a dificuldade nalguns casos (e.g. VRT) de perceberem à partida os benefícios dos equipamentos também pode dificultar a sua adopção. De facto, os ganhos resultantes de aplicações como a distribuição de nutrientes em VRT dependem de vários factores desconhecidos à priori (Serrano e Peça 2009). Este facto conduz a que a percepção dos ganhos seja especialmente difícil para aquela tecnologia, ou seja, torna-se complicada a análise de limiares de rentabilidade (Braga e Pinto, 2012).

O ganho financeiro de aplicações VRT vs. aplicações convencionais (taxa fixa) depende sobretudo do grau de variabilidade espacial do nutriente no solo em conjugação com a dimensão da parcela. Deste modo, é impossível a percepção dos ganhos sem algum investimento prévio na avaliação da variabilidade espacial. Ou seja, haverá nesta aplicação um investimento com algum risco (por exemplo, avaliação da variabilidade de determinado nutriente no solo).

No contexto da reduzida adopção da agricultura de precisão em culturas arvenses, e face às principais razões para esse facto, torna-se necessário encontrar formas de melhorar a percepção das vantagens para os empresários da adopção, por exemplo, dos monitores de produtividade nas ceifeiras.

As cartas de produtividade (resultantes dos monitores de produtividade) tornam-se particularmente importantes para a adopção da agricultura de precisão já que, por um lado, elas espelham o resultado final de todo o processo produtivo e, por outro, a produtividade é uma variável essencial na determinação da margem bruta e posteriormente do rendimento das explorações agrícolas (Coelho et al. 2004). As cartas de produtividade são, ainda, um dos pontos de partida para a aplicação diferenciada de factores de produção como por exemplo fertilizantes (Serrano e Peça 2009). Deste modo, torna-se muito relevante que as cartas de produtividade forneçam ao empresário dados o mais correctos possível.

Infelizmente, nem sempre as aplicações informáticas fornecidas com os monitores de produtividade são capazes de fornecer cartas de produtividade fiáveis (Braga 2009). O processo de monitorização da produtividade durante a colheita introduz bastantes erros e valores inverosímeis, que ao não serem eliminados posteriormente pelas aplicações informáticas fornecidas pelos fabricantes, conduzem a cartas pouco exactas e que muitas vezes não representam correctamente a realidade.

Os prestadores de serviços que, na maioria dos casos, se limitam ao processamento dos dados efectuados pelas aplicações informáticas, acabam por transmitir aos empresários agrícolas essas mesmas cartas. Deste modo, os empresários ficam logo limitados na sua análise das cartas já que partem de um produto de qualidade aquém do desejável (Braga 2009a).

Esta dissertação tem dois objectivos principais: (1) validar um método de corrigir os dados dos monitores de produtividade de forma a possibilitar a elaboração de cartas o mais correctas possível; (2) estudar formas de melhorar a percepção dos benefícios da agricultura de precisão através da análise descritiva, análise espaço temporal e análise de margem bruta das cartas de produtividade e criação de valor acrescentado.

O trabalho de campo para esta dissertação foi efectuado numa parcela comercial de um empresário agrícola: parcela “Barracão do Duque” propriedade da Sociedade Agrícola Quinta da Lagoalva de Cima SA, localizada na Golegã.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 A cultura do milho

3.1.1 Estatísticas de produção, preço e auto-provisionamento

A cultura do milho é na actualidade a mais importante cultura arvense em Portugal. Segundo a ANPROMIS (2012) e o IFAP, o número de explorações agrícolas que semeia a cultura é de 80.000 (total de cerca de 270.000), ocupando em 2010 cerca de 130.000 hectares de área cultivada de Norte a Sul do país (Quadro 1). Esta abrangência territorial resulta em parte de a cultura ser utilizada quer para produção de silagem quer grão (61,6% da área em 2010). De facto, a área dedicada à cultura do milho destaca-se da de qualquer outra cultura arvense, sendo 1,7 vezes maior que a área de aveia (a segunda mais semeada); 2,6 vezes a área de trigo; e 4,5 vezes a área de arroz (quadro 1).

No que toca à evolução temporal da área cultivada (Quadro 2 e Fig. 1) verifica-se um decréscimo desde 2004 a 2010 de cerca de 81 mil ha (-38%). Na realidade, este decréscimo total da área cultivada ficou a dever-se sobretudo à redução do milho-grão, cuja área sofreu uma diminuição no período de 47% (ca. 72,5 mil ha). No mesmo período a redução da área de milho-silagem foi de apenas 13,8% (ca. 8 mil ha).

A drástica redução da área de cultivo de milho verificou-se igualmente noutras culturas no mesmo período 2004-2010: Trigo -131 mil ha (-72%); Sorgo -11,9 mil ha (-64%); Centeio - 8,5 mil ha (-36%); Aveia - 20 mil ha (-21%); Proteaginosas 0,8 mil ha (-13%). As únicas culturas que registaram um aumento, embora em média mais modestos, de área foram: Triticale +8,5 mil ha (+54%); Cevada +1,5 mil ha (+11%); Arroz +2,2 mil ha (+8%); Tomate +2,7 mil ha (+19%); Girassol +7,4 mil ha (+117%).

Quadro 1- Valores da superfície (ha) das principais culturas anuais em Portugal no ano 2010. (Fonte: IFAP)

Cultura	Área (ha)
Milho	132.491
Aveia	77.890
Trigo	51.026
Arroz	28.985
Triticale	24.057
Cevada	20.322
Tomate	16.326
Centeio	15.191
Girassol	13.771
Sorgo	6.690
Proteaginosas	5.617

Quadro 2- Evolução temporal da área cultivada de milho grão, milho silagem e total em Portugal.

(Fonte: IFAP)

	Grão	Silagem	Total	% Grão
2004	154.108	59.037	213.145	72,3%
2005	114.720	55.639	170.359	67,3%
2006	100.783	54.121	154.904	65,1%
2007	99.108	52.837	151.945	65,2%
2008	102.374	52.705	155.079	66,0%
2009	84.678	51.730	136.408	62,1%
2010	81.570	50.921	132.491	61,6%

Na globalidade das culturas arvenses viram a sua área reduzida em 235.648 ha (-37,5%) entre 2004 e 2010, correspondendo a uma perda média anual de cerca de 39 mil ha /ano. Quando se consideram apenas os cereais, a redução da área é ainda maior: 237.027 ha (-40%) no mesmo período.

Esta desfavorável evolução resultou, por um lado, do desligamento das ajudas directas à produção em 2003 (GPP 2007) e, por outro, da redução da competitividade das culturas face ao aumento do preço dos factores de produção e redução do valor do produto (sobretudo anterior a 2008). De facto o desligamento das ajudas num subsector muito exposto às alterações da PAC, conduziu a que os empresários passassem a estar mais susceptíveis às regras do mercado. Neste contexto, assistiu-se nos últimos anos a um aumento da área de Olival e Pastagem (para produção de carne) i.e. culturas mais rentáveis.

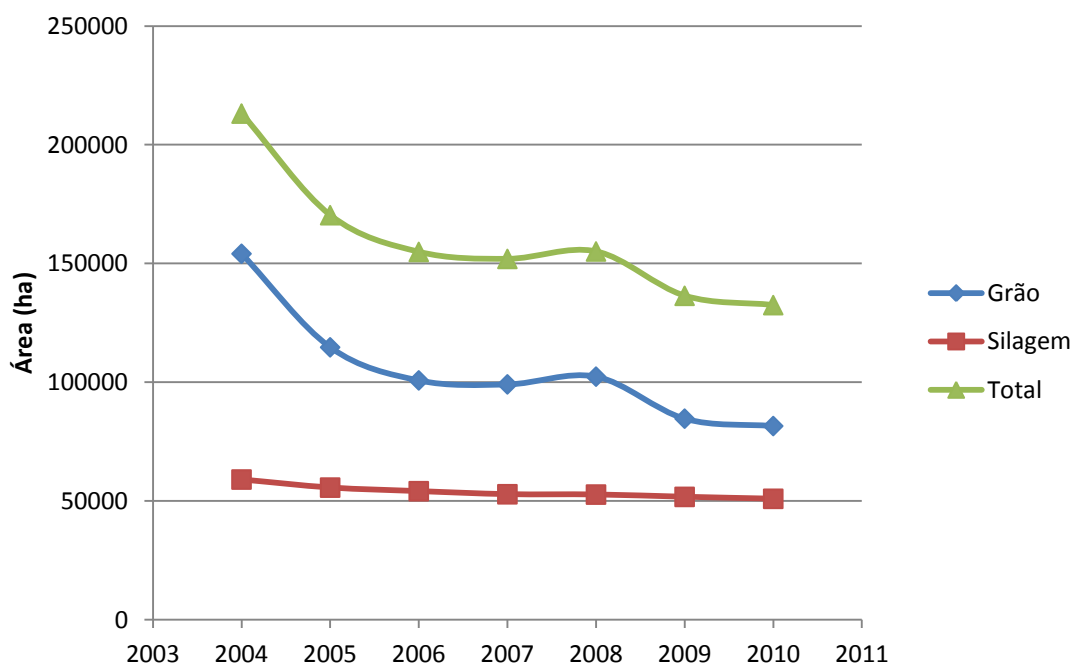


Figura 1 - Evolução temporal da área cultivada de milho grão, milho silagem e total em Portugal.

(Fonte: IFAP)

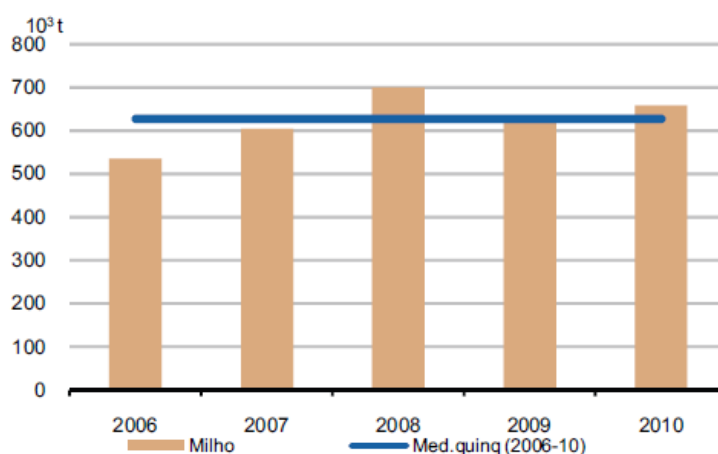


Figura 2 - Evolução da produção de milho em 2006-2010.

(Fonte: INE)

Contrariamente à área, a produção de milho em Portugal tem sofrido um aumento (Fig 3). Este facto resulta do aumento da produtividade da cultura por abandono das áreas menos produtivas..

Na Figura 3 observa-se que, segundo a classificação NUTS II, a maior produção de milho ocorre no Alentejo (42%) logo seguida pela região Centro (28%), enquanto o Norte (19%) se encontra na terceira posição. As regiões do Algarve e Regiões Autónomas contribuem para a estatística com valores percentuais bastante baixos, sendo que destas 3 regiões, a Região Autónoma da Madeira é a que mais produz correspondendo a 1% do total nacional.

PRODUÇÃO DE MILHO EM PORTUGAL EM 2010

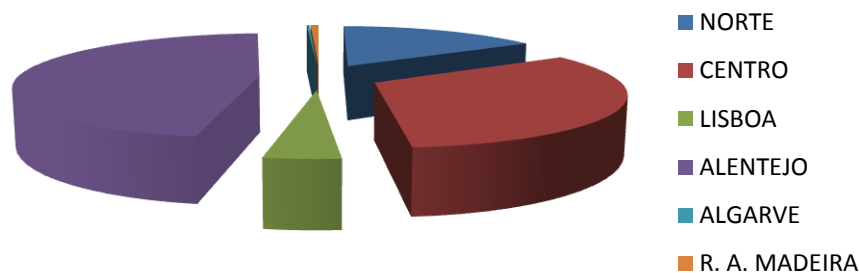


Figura 3 - Distribuição por zonas geográficas da produção de milho no ano 2010.

(Fonte: INE)

SUPERFÍCIE DE MILHO EM PORTUGAL 2010

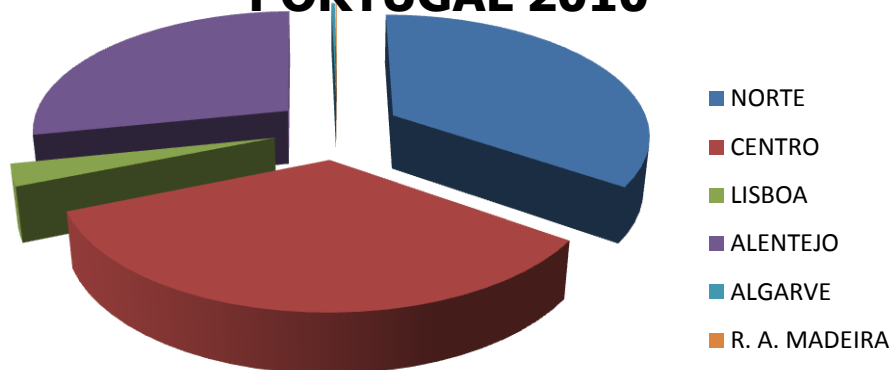


Figura 4- Distribuição por zonas NUTS II da superfície de milho no ano 2010.

(Fonte: INE)

Na distribuição da superfície pelas regiões, o Centro e o Norte detêm maior superfície (34% e 32% respectivamente) seguidos o Alentejo e Lisboa.

Contrastando a distribuição da superfície com a da produção por região NUTS II, depreende-se que a região Alentejo é a que apresenta maior produtividade por unidade de área quando comparada com as regiões Norte e Centro. Este facto fica a dever-se pelo menos em parte à relativamente menor importância que o milho-silagem no Alentejo em comparação com o Norte e Centro.

Não obstante as reduções verificadas na área de cultivo, a cultura do Milho, e restantes culturas arvenses e particularmente os cereais, serão sempre culturas estratégicas em Portugal. Os cereais são culturas fundamentais quer para alimentação directa das populações quer para alimentação animal (GPP 2007) tendo ainda um papel fundamental na ocupação do solo e na produção de palha também para a alimentação animal.

No que toca ao grau de auto aprovisionamento, segundo o INE, em 2005 foram importadas $1320 \cdot 10^3$ toneladas de milho, que juntamente com a produção nacional foram consumidas em $1735 \cdot 10^3$ toneladas para alimento animal e $105 \cdot 10^3$ toneladas para consumo humano. Desta forma, e tendo ainda em conta as reduzidas exportações, o grau de auto aprovisionamento foi de 38 %.

Finalmente, o preço mundial de milho tem sofrido grandes oscilações desde 2008, tendo recentemente (em abril de 2011) atingido valores históricos acima dos 300 USD/ton. Se por um lado, estas oscilações representam um desafio do ponto de vista da procura, do lado da oferta, para os empresários pode significar um aumento significativo de oportunidade para o aumento da produtividade ou aumento de área cultivada.

Em termos mundiais, os EUA são o maior produtor com 332.549 10³ toneladas, seguidos da China com 164.107 10³ toneladas e do Brasil com 50.719 10³ toneladas (valores de 2009 segunda a FAO). Entre os países da EU-27, o maior produtor é a França com 15.288 10³ toneladas (8º a nível mundial), seguida Itália 9.515 10³ toneladas e pela Hungria 7.528 10³ toneladas. Nos 20 primeiros produtores mundiais não há mais nenhum país da EU-27, no entanto, a EU como um todo é o terceiro maior produtor mundial com 57.147 10³ toneladas.

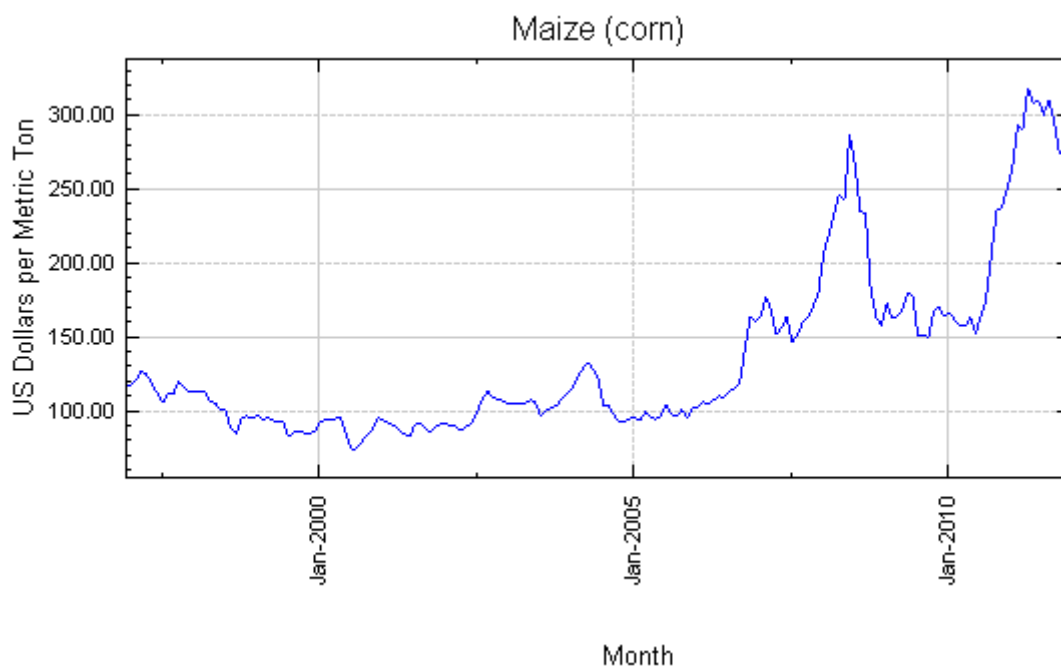


Figura 5 – Evolução do preço do milho em USD/ton nos últimos 15 anos
(FOB Gulf of Mexico; 1 USD = 0,75 EUR).

3.1.1 Botânica e fisiologia

O milho é um cereal C4 que pertence à divisão das Fanerogâmicas, subdivisão das Angiospérmicas, classe das Monocotiledóneas, ordem das Gramínideas, família das Gramíneas, tribo Maydeae, género Zea L. e espécie Zea Mays L.. É uma das culturas mais estudada no mundo a par da cultura do Trigo e Soja. A bibliografia técnico-científica de referência é vastíssima podendo-se salientar Jones e Kiniry (1986), Girardin (1999), Otegui, e Slafer.(2000), Bennetzen e Hake (2008), Bennetzen e Hake (2009).

O centro de origem do milho mais provável é o México Meridional situado na América Central. Foi introduzido na Europa pelos descobridores da América, e rapidamente se espalhou pela Península Ibérica e resto da Europa. Pode ser utilizado para pasta de papel (em seco), para forragem, ainda que o principal fim seja a produção de grão atingindo em Portugal, em regadio, produtividades na ordem das 14 a 17 toneladas de grão seco por hectare.

O milho possui um sistema radicular fasciculado, de grande crescimento, potente e com raízes adventícias que lhe conferem resistência à acama. Estas surgem no estado fenológico de 5 a 6 folhas. O caule é um colmo meduloso, erecto, que em boas condições de crescimento desenvolve 16 nós. As folhas são compridas, largas, paralelinérvias, de disposição alterna, lanceoladas, alternas, sem lígula, de bainha longa, bordos ásperos, glabras ou pubescentes, com nervuras rectilíneas-paralelas e uma nervura funda ao meio na página superior.

As flores surgem agrupadas em inflorescências masculinas e femininas (planta monóica). A inflorescência masculina é uma panícula (bandeira) que surge na extremidade do caule e contem duas espiguetas em cada dente. Cada espiguetas tem 2 flores, uma fértil e a outra estéril. A inflorescência feminina surge entre o 6º e o 8º nós na axila das folhas em número de uma ou, raras vezes, duas e é uma espiga de espiguetas unifloras (maçaroca). A espiga pode ter de 16 a 20 carreiras e cada carreira cerca de 50 grãos. A espiga é envolvida por brácteas (camisas), donde saem longos estiletes (barbas) terminados por dois estigmas. As brácteas são solidárias ao pedúnculo e o eixo da espiga é carnudo (carolo).

A fecundação é sobretudo (95%) cruzada, devido a um fenómeno de protândria (as flôres masculinas atingem mais cedo, cerca de 3 dias, a maturação do que as femininas), sendo por isso difícil a manutenção de linhas puras.

O fruto do milho é uma cariopse indeiscente, monospérmico, apocárpico, com semente ligada ao pericarpo e agrupado em infrutescências. É raro o aparecimento do chamado

milho rei, já que a característica grão vermelho está ligada a um gene recessivo. O peso de mil grãos varia entre 250 e 300 g.

O ciclo da cultura compreende um período vegetativo e um período reprodutiva dando-se a sequência dos seguintes estados: Germinação; Emergência; Emissão de folhas; Aparecimento da panícula ; Floração masculina; Floração feminina; Formação do grão; Granação; Maturação.

A designação mais aceita dos estados fenológicos é (Fig. 6):

Período Vegetativo (V):

- VE - emergência
- V1 – primeira folha expandida
- V2 - primeira folha expandida
- V3 - primeira folha expandida
- V(n) – n-esima folha expandida
- VT - Embandeiramento

Período Reprodutivo (R):

- R1 – Aparecimento das sedas (silking)
- R2 – Emborrachamento (blister)
- R3 – Leitoso (milk)
- R4 – Pastoso (dough)
- R5 – Vítreo (dent)
- R6 – Maturação fisiológica

A duração das fases fenológicas é: Sementeira a VE: 5-15 dias; VE a V8/V9 - 25-45 dias; V8/V9 a VT -10-30 dias; VT a R6 - 30-65 dias, sendo a totalidade do ciclo compreendido entre 70-155 dias. Um ciclo com duração até 85 dias é classificado como ultraprecoce (FAO 100) e um ciclo com mais de 150 dias de duração é classificado como ultra-tardio (FAO 900). Entre os dois extremos existem ciclos FAO200 (86 e 95 dias); FAO300 (96 e 105 dias); FAO 400 (106 e 115 dias), etc.

O período vegetativo inicia pela germinação, que exige uma temperatura mínima do ar de 10 ° C e dura entre 5 e 15 dias, conforme a temperatura e estado hídrico do solo. Esta fase é determinante para um dos principais componentes de produção que é a densidade de plantas.

Quando a cultura atinge o estado de 3 a 4 folhas (V3/V4), o crescimento parece parar, o que permite a formação das raízes. Até aquele estado fenológico a cultura é muito sensível à geada e ao encharcamento.

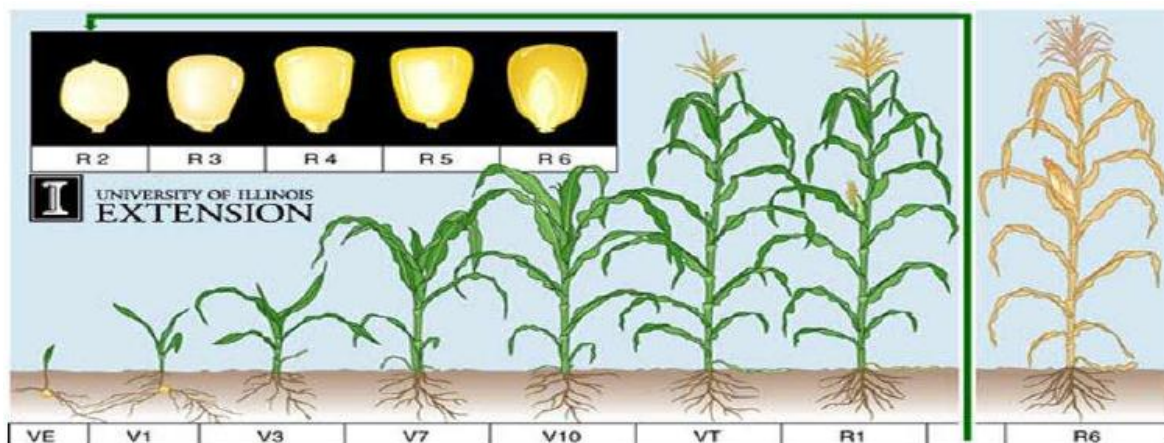


Figura 6 – Estados fenológicos da cultura do milho (Univ. Illinois Extension).

Entre as 4 a 6 folhas começam a diferenciar-se os órgãos florais e o meristema apical está à superfície do solo. A instalação “acaba” quando a planta atinge o estado das 6 a 8 folhas, sendo fundamental não haver stress hídrico nesta fase. Temperaturas inferiores a 10 °C, que corresponde ao zero vegetativo, e a ausência de sol prolongam a fase vegetativa. Com a diferenciação floral determinam-se os principais componentes da produção: nº de espigas, nº de linhas por espiga e o nº de óvulos/grãos por linha. Após 5º ou 6ª folha (milho joalheiro) as exigências da cultura em água e nutrientes aumenta significativamente.

Das 6 a 8 folhas até à floração, o ápice desenvolve a panícula masculina dando início ao período reprodutivo. Seguem-se os gomos axilares, sob os quais aparecem as flores femininas e as sedas. Se a água faltar nesta fase o número de flores femininas será reduzido e consequentemente o número de grãos por espiga.

Da floração masculina à fecundação dá-se a emissão do pólen que cai sobre as sedas e germina. O pólen está disponível no campo durante 15 dias e a fecundação é feita 48 a 72 horas depois da polinização. A fecundação é quase sempre cruzada, já que há um desfasamento entre a maturação das flores masculinas e das femininas da mesma planta em cerca de 3 dias. O estado da floração é muito sensível às altas temperaturas (35-38°C), que podem conduzir à drástica redução do número de grãos por espiga em resultado de uma polinização reduzida. Após a polinização, a espiga desenvolve-se atingindo a sua dimensão máxima.

Durante as três primeiras semanas do período reprodutivo dá-se o desenvolvimento rápido dos esboços das espigas e jovens grãos. Nas seguintes 4 a 5 semanas verifica-se a formação de 85% da m.s. nos grãos passando por três fases: estado leitoso, estado pastoso e estado vítreo.

Durante o enchimento do grão é determinado outro componente de produção muito importante que é o peso de grão. Também durante o enchimento do grão o teor de humidade vai diminuindo começando por ser de 85% no estado embrachamento R2, 80%

no estado leitoso R3, 70% no estado pastoso R4 (é atingido 50% do peso do grão) e entre 55% no estado vítreo R5. A maturação fisiológica R6 do grão (ponto negro) dá-se aos 35% por cento de humidade do grão, enquanto a colheita se efectua a teor de humidade do grão entre os 20 e 25% de humidade. O teor de humidade de armazenamento do grão é de 15%. A colheita para silagem deve ser feita no estado R4.

O integral térmico da cultura é variável com a variedade (duração do ciclo) entre o intervalo 1500 a 1900 °C dia para uma temperatura base de 10°C. A temperatura óptima para a cultura varia entre 16 a 18 °C durante a germinação até 24 a 29 °C durante o crescimento vegetativo.

3.1.3 Factores determinantes na produção de milho

A cultura do milho é uma cultura exigente em condições edafo-climáticas, em nutrição mineral e hídrica e no controlo de infestantes e pragas. É ainda determinante a escolha da variedade, a data de sementeira e a densidade de plantas.

Os solos apropriados à cultura do milho têm que apresentar boa drenagem, já que a cultura é sensível ao encharcamento. Devem também apresentar uma boa capacidade de retenção de água (elevada reserva facilmente utilizável e profundidade efectiva do solo) já que a cultura no clima mediterrânico apenas se torna economicamente viável com recurso ao regadio. Finalmente, pHs abaixo de 5 conduzem a fortes reduções na produtividade.

Dadas as exigências térmicas da cultura e a temperatura base de crescimento, o Milho adapta-se ao clima mediterrânico em sementeira de primavera-verão. Infelizmente, esta é também a estação seca do ano, pelo que o recurso ao regadio se torna imperativo.

Trata-se de uma cultura muito exigente em água: Para formar 1 kg de matéria seca são necessários cerca de 250 a 300 litros de água (evapotranspiração). Desta forma, no regadio e nas nossas condições, são necessários cerca de 400 a 500 mm para satisfazer plenamente as necessidades hídricas (4000-5000 m³/ha). Para dotações de 40 mm são necessárias 10-12 regas por campanha. O impacto do stress hídrico não é igual em todo o ciclo. Os períodos críticos correspondem à floração +/- 20 dias e à generalidade do período das 6 folhas em diante. Nestes períodos de maior exigência, um pequeno atraso de 1 a 2 dias na rega pode ter impactos consideráveis.

A primeira rega deve ser atrasada. Não deve acontecer antes das 3-4 folhas expandidas de forma a promover um sistema radicular mais profundo. No entanto em anos secos, é necessário efectuar uma rega antes da sementeira para facilitar a germinação e emergência. A rega deve terminar no estado de fenológico de maturação fisiológica (R6).

As necessidades de macronutrientes variam consoante o potencial produtivo, tendo por base uma relação simplificada do tipo 21 unidades de N; 14 unidades de P e 17 unidades de K por cada tonelada de grão a produzir. Assim, por exemplo para um potencial de 15 t/ha, teremos uma necessidade aproximada de nutrientes de 315 unidades de N; 210 unidades de P e 255 unidades de K.

A aplicação do N deve ser fraccionada com 30 a 50 unidade à sementeira e o restante em uma ou várias aplicações a partir das 6 a 8 folhas. No caso de existir fertirrega torna-se possível aumentar o fraccionamento.

No caso do P e K há ainda que levar em conta com as disponibilidades destes macronutrientes no solo. Outros nutrientes que frequentemente são alvo de fertilização são o Mg, o Zn e o B.

Do ponto de vista sanitário, o principal problema na cultura do milho em Portugal resulta das infestantes. Deste modo é necessário controlar este agente de forma sistemática. Algumas pragas (piral, sesamia ou broca do milho, alfinete ou agriotes sp. e roscas ou agrostis sp.) também podem assumir alguma importância assim como infecções do solo por nemátodos. As sementes são ainda sistematicamente tratadas com fungicidas para evitar o apodrecimento após a sementeira.

O controlo das infestantes deve iniciar-se o mais cedo possível de forma a evitar a competição com o milho por recursos (água, nutrientes e luz) e a sua própria propagação quer por sementes quer por órgãos vegetativos. As infestantes podem ainda reduzir a qualidade da cultura ao contaminarem o grão com sementes estranhas durante o processo de colheita. As principais formas de controlo das infestantes são as sachas e as mondas químicas. As sachas são em geral realizadas no estado fenológico de V2/V3 e no estado fenológico V5/V6 (milho joalheiro). No caso da rega por sulcos, a segunda sacha é utilizada para armar o terreno.

Nos sistemas de mobilização nula ou mínima o controlo das infestantes é feito por monda química. A monda química recorre em geral à atrazina para as dicotiledóneas e a simazina e alacloro para as monocotiledóneas em tratamentos pós-sementeira e pré-emergência do milho.

Além do controlo da nutrição mineral e hídrica e do controlo de infestantes e pragas, os factores que mais determinam a produtividade são a escolha da variedade, da data de sementeira e da densidade de plantas.

Existe uma forte interacção na escolha da variedade, da data de sementeira e da densidade de plantas. Um dos factores que mais pesa na escolha da variedade, além da aptidão, é a duração do ciclo. A duração do ciclo da cultura é uma variável determinante do potencial

produtivo da cultura. Os ciclos mais longos apresentam, à partida, um maior potencial produtivo que os ciclos curtos. Esse potencial reflecte-se também no tamanho de cada planta individualmente. Os ciclos mais longos produzem plantas de maiores dimensões (maior biomassa, maiores espigas e maior número de grãos / espiga) que os ciclos mais curtos. Deste modo, quanto menor a duração do ciclo maior deverá ser a densidade de plantas. Por exemplo, num ciclo precoce (FAO 300) deverá utilizar-se uma densidade indicativa de 11.000 plantas / ha, quanto que um ciclo tardio (FAO 800) essa densidade deverá ser de 9.000 plantas / ha. Finalmente, para que os ciclos longos possam completar o seu ciclo, a data de sementeira deverá ser mais precoce. Assim, ciclos longos requerem datas de sementeiras precoces e menores densidades de plantas. Em datas de sementeira mais tardias, devem ser utilizados ciclos mais curtos (com maiores densidades de plantas) de forma a conseguirem completar o ciclo antes no início das primeiras precipitações outonais. A utilização de um ciclo curto numa data precoce conduz a ineficiência na utilização do potencial produtivo.

A densidade de plantas é uma variável determinante para a produtividade da cultura do milho. De facto, dada a incapacidade de afilhamento da cultura, as falhas de plantas na linha conduzem a perdas consideráveis de produtividade. A cultura tem baixa plasticidade para se adaptar a densidade de plantas baixas quando comparada com a cultura do trigo, com forte capacidade de afilhamento. De facto, dada a inexistência de afilhamento na cultura do milho, a compensação para baixas densidades faz-se apenas pelo número de espigas por planta, pelo número de grãos por espiga e pelo peso do grão (eq.1).

$$\text{Produção/ha (kg/ha)} = (\text{n}^\circ \text{ de plantas produtivas/ha}) \times (\text{n}^\circ \text{ de espigas / planta}) \times (\text{n}^\circ \text{ de linhas / espiga}) \times (\text{n}^\circ \text{ de grãos / linha}) \times (\text{taxa de fecundação}) \times (\text{taxa de vingamento dos grãos}) \times \text{peso do grão (kg/grão)} \quad (\text{eq. 1})$$

Assim por exemplo:

$$7000 \text{ plantas produtivas /ha} \times 0,98 \text{ espigas / planta} \times 16 \text{ de linhas / espiga} \times 50 \text{ grãos / linha} \times 0,80 \text{ taxa de fecundação} \times 0,95 \text{ taxa de vingamento dos grãos} \times 250 / 10^6 \text{ kg/grão} = 10427 \text{ kg/ha} \quad (\text{eq. 2})$$

Nos períodos em que se definem os componentes de produtividade (eq.1) é necessário ter cuidado adicional com as decisões tomadas e com as condições ambientais proporcionadas

à cultura de forma a não comprometer a produtividade. O número de espigas por planta, o nº de linhas por espiga e o nº de grãos por linha são definidos na diferenciação floral que ocorre entre os estados fenológicos V4 e V6. A taxa de fecundação e taxa de vingamento dos grãos são definidos um pouco após os estados fenológicos VT (embandeiramento) e R1 (aparecimento das sedas) quando se dá a polinização das flores e a fecundação dos óvulos. O peso do grão está sobretudo relacionado com as condições da planta e ambientais (água e nutrientes) durante os restantes estados fenológicos do período reprodutivos (R2, R3, R4 e R5) até à maturação fisiológica em R6.

A densidade de plantas à maturação depende dos seguintes factores (eq 3):

$$\text{Plantas / ha à maturação} = \text{dose de semente (kg / ha)} / \text{peso da semente (kg/grão)} \times \text{grau de pureza} \times \text{faculdade germinativa} \times (1 - \text{perdas da sementeira à emergência}) \times (1 - \text{perdas da emergência à maturação}) \quad (\text{eq. 4})$$

Assim por exemplo:

$$24,5 \text{ kg/ha} / 0,00025 \text{ kg/grão} \times 0,98 \times 0,9 \times (1-0,1) \times (1-0,1) = 70.013 \text{ plantas / ha à maturação} \quad (\text{eq.5})$$

A eq. 4 para determinação da dose de semente a utilizar na sementeira pode reescrever-se (eq 6):

$$\text{Dose de semente (kg / ha)} = \text{Plantas / ha à maturação} / (\text{grau de pureza} \times \text{faculdade germinativa} \times (1 - \text{perdas da sementeira à emergência}) \times (1 - \text{perdas da emergência à maturação})) \times \text{peso da semente (kg/grão)} \quad (\text{eq. 6})$$

Para uma determinada dose de semente, a densidade de plantas à maturação irá, portanto, ser determinada pelo peso da semente, do grau de pureza, da faculdade germinativa, perdas da germinação à emergência e das perdas da emergência à maturação. O peso da semente é específico de cada cultivar e cada lote de semente. O grau de pureza e a faculdade germinativa, cujo produto resulta no valor cultural da semente, depende da qualidade da semente utilizada ditada por um lado, pela quantidade de elementos estranhos (sementes de outras espécies, corpos diversos) e por outro, pela quantidade de sementes menos aptas a germinar. As perdas da sementeira à emergência podem ocorrer por várias

razões entre elas inadequadas condições ambientais para a germinação (temperatura e água no solo), por apodrecimento da semente, por efeito de roedores e por inadequada profundidade de sementeira. As perdas de plantas entre a emergência e a maturação podem resultar sobretudo pelo efeito de pragas dos caules (eg. broca) e pela acama em geral (tombo das plantas por incapacidade de suporte).

Finalmente, a organização espacial das plantas também tem impacto da produtividade da cultura. A cultura do milho é semeada em linhas com uma distancia entre-linhas de 75 cm, como resultado sobretudo das cabeças de corte das ceifeiras. Deste modo, o espaçamento entre plantas na linhas é dado por (eq. 7):

$$\text{Espaç. pl. na linha (m)} = 10000 \text{ m}^2 / (\text{Dose de sem. (kg / ha)} / \text{peso da semente (kg/grão)}) \times 1/0,75 \text{ m} \quad (\text{eq.7})$$

3.2 Monitores de produtividade e tecnologias utilizadas na agricultura de precisão

O maior desafio da agricultura parecer ser a gestão da informação e geração de conhecimento (Braga e Pinto 2012). Existem até aplicações no âmbito da agricultura de precisão em que não é necessário a aplicação de qualquer tecnologia recente (Braga e Pinto 2012). Contudo, a aplicação deste sistema de cultura em larga escala, sobretudo em culturas arvenses, não é possível sem o recurso a uma série de tecnologias. Estas novas tecnologias devem ser encaradas como ferramentas divididas em três grupos: ferramentas de diagnóstico (detecção remota, monitor da produtividade, condutividade eléctrica do solo, etc); meios de actuação (GPS e VRT); e, ferramentas de gestão de dados e geração de conhecimento (SIG).

Foi de facto, a vulgarização do uso destas tecnologias, em curso nos últimos 20 anos, que permitiu a generalizada disseminação do conceito de agricultura de precisão. Neste subcapítulo faz-se uma breve descrição de cada uma destas tecnologias.

3.2.1 Sistema de posicionamento global (GPS)

O GPS (global positioning system) surgiu na década de 70 e foi criado pelo Departamento de Defesa dos E.U.A., para oferecer a posição instantânea, bem como a velocidade e o horário de um ponto qualquer sobre a superfície da terra ou bem próximo a ela, num referencial tridimensional (Bernardi, e Landim, 2002).

O sistema é composto por 24 satélites que se encontram a 20200 km da superfície terrestre (Fig. 7) sendo o conjunto por eles formados é denominado de Navstar (Navigation Satellite with Time and Ranging). Estes, encontram-se distribuídos por um total de 6 orbitas, havendo 4 satélites por orbita, de maneira a que a qualquer instante se encontrem sempre 4 satélites sobre qualquer ponto da superfície da terra, de maneira a conseguir ter com extrema precisão o posicionamento 3D de qualquer ponto em tempo real.

Segundo Searcy (1997), o sistema de posicionamento global é uma das bases da agricultura de precisão. A confirmar esta ideia, Davis (1998) afirma que a agricultura de precisão foi frequentemente definida com base nas tecnologias que permitem que ela seja realizada como o GPS ou sistemas de taxas variáveis. Uma vez que o conceito de agricultura de precisão baseia-se em informações georreferenciadas, a precisão das coordenadas deve ser tão alta quanto possível. Segundo Han et al. (1994), para aumentar a precisão do sistema, pode-se usar uma técnica de correcção das posições, denominada correcção diferencial. Assim, para o funcionamento do sistema de GPS diferencial ("Differential Global Positioning System - DGPS"), deve existir um segundo receptor, denominado receptor ou estação-base, instalado num ponto fixo e de coordenadas conhecidas.

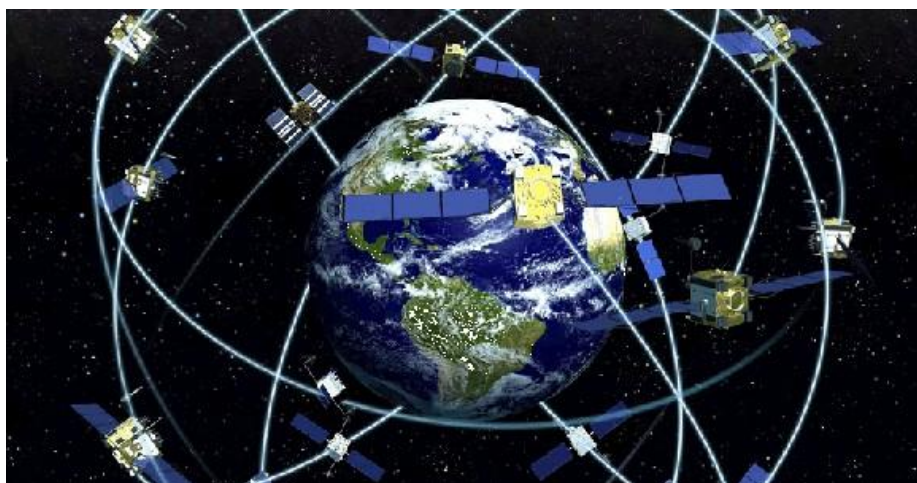


Figura 7 - Constelação de satélites 24 satélites que constituem o GPS.

Os posicionamentos obtidos por GPS estão sujeitos a um determinado conjunto de erros, que em cada momento determinam a exactidão e precisão do sistema. Esses erros têm diversas fontes como: Geometria dos satélites em relação ao observador (medida pelo DOP – dilution of precision – sendo desejáveis valores inferiores a 3); Desvios dos relógios dos satélites; Atraso de propagação e processamento dos sinais pelos circuitos dos satélites;

Ocorrência de trajectórias múltiplas dos sinais; Efeitos da atmosfera sobre a velocidade e a trajectória de propagação dos sinais transmitidos; Devidos à resolução e ruído do receptor do usuário; devido à determinação da posição dos satélites (erro de efeméride).

Quando o GPS é utilizado em posicionamento i.e. em modo estático, a maioria dos erros enumerados é facilmente removida. Deste modo é possível, meso sem equipamento muito caros obter posicionamentos exactos com precisões de 10 a 20 cm. Uma das formas mais comuns de eliminar grande parte dos erros em modo estáticos é a obtenção de médias de posicionamentos (10 a 20 valores) para a definição das coordenadas de um ponto.

Em modo navegação ou dinâmico, em que o receptor GPS está em movimento continuo no terreno a obter posicionamentos, os erros já são mais difíceis de remover mesmo com DGPS. Este é o modo em que as ceifeiras com monitor de produtividade e os distribuidores com sistema VRT funcionam. Mesmo quando a DOP se degrada, o equipamento continua a obter posicionamento, o que conduz por vezes a erros grosseiros.

3.2.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Um sistema de informação geográfica, é um sistema resultante do conjunto hardware, software e informação geográfica referenciada, pessoas e processos que nos permitem ter uma percepção do espaço, e que tem a capacidade de manipular, consultar, visualizar, arquivar e modelar os dados (Clark, e McGucken, 1996).

Segundo Ribeiro et al. (s.d.) o objectivo principal de um SIG é o de processar informações espaciais, devendo ser capaz de criar abstracções digitais do real, modelar e armazenar eficientemente os dados, de forma a identificar o melhor relacionamento entre as variáveis espaciais, possibilitando a criação de relatórios e mapas que permitam uma melhor compreensão holística desses relacionamentos (Fig 8).

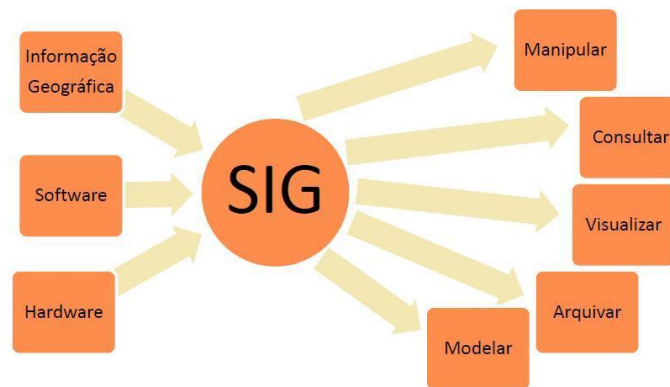


Figura 8 - Esquema representativo do funcionamento de um SIG.

Os dados inseridos num SIG, são informações georreferenciadas que podemos dividir em pontos geográficos e atributos, o que permite que os utilizadores, nomeadamente os agricultores, através dos cruzamentos entre os pontos geográficos e os seus atributos possam ter uma boa ferramenta para uma melhor gestão da parcela. (Pinto, I., 2009).

No sector agrícola, segundo Coelho, *et al.*, (2009) os SIG são cada vez mais usados no planeamento e gestão da exploração. Esta utilização dos SIG cada vez maior por parte do sector agrícola é inteiramente justificável, uma vez que grande parte das tecnologias que servem de base à agricultura de precisão necessita de informação georreferenciada.

3.2.3 Detecção Remota

A detecção remota é a recolha de informação de um objecto, área ou fenómeno, com o auxílio de um dispositivo que não esteja em contacto directo com esse mesmo objecto, área ou fenómeno (Jensen 2007; Lillesand e Kiefer 1994) . Num contexto mais cartográfico, servindo de base ao planeamento e gestão agrícola, a detecção remota pode ser caracterizada como um conjunto de técnicas que permitem uma leitura da informação capturada remotamente por sensores de radiação electromagnética colocadas acima da superfície terrestre sobre a qual se pretende obter informação.

As imagens de satélite são exemplos de produtos da detecção remota. De acordo com Thenkabail, P. (2002), o uso de dados provenientes de satélites com o propósito de quantificar e qualificar a variabilidade dentro e entre parcelas cultivadas é cada vez mais a mais importante fonte de informação para a agricultura de precisão. Jones e Barnes (2000), referem que a detecção remota fornece informações confiáveis variabilidade espacial e rendimento, através de características biofísicas, relacionando-as com modelos de cultivo, facilitando as tomadas de decisão na aplicação de técnicas de agricultura de precisão. De acordo com Seelan, S. *et al*, (2003), o uso da detecção remota para avaliação da condição das culturas

assenta na relação entre a reflectância multiespectral, a temperatura da canopia, a fotossíntese e a evapotranspiração. Quantitativamente, os dados espectrais são convertidos em quantidades biofísicas como LAI (Moran et al, 1995; Johannsen et al., 1998), enquanto que qualitativamente, a variabilidade é mapeada em termos de magnitude tais como níveis altos ou baixos de pragas e doenças, deficiências de nutrientes (Thenkabail, P., 2002). Diversos estudos demonstraram associações entre a reflectância da canopia das culturas, biomassa e índice de área foliar com as suas produtividades (major et al, 1986, Bouman et al., 1992, Basso et al., 2001, Shanahan et al., 2001). Outras vantagens da caracterização das culturas através de detecção remota são a rapidez, o baixo custo e não ser destrutivo (Vaesen et al., 2001).

De acordo com Dobermann. e Ping (2004), os desenvolvimentos recentes na tecnologia de detecção remota conduziram a melhorias significativas na resolução espacial e espectral das imagens de satélite. Além dos satélites, a detecção remota também pode ser levada a cabo através de plataformas a menor altitude como aviões. Desta forma, consegue-se uma maior resolução espacial das imagens (menor altitude) assim como total independência em relação às condições atmosféricas.

Com base nas imagens que se podem obter através da detecção remota é possível calcular determinados índices com grande significado agronómico em que se destacam os índices de vegetação como o NDVI – *Normalized Difference Vegetative Index* . O NDVI é obtido através das leituras das reflectâncias no vermelho V (600 a 700 nm) e infra-vermelho próximo IVP (700 – 1100 nm) (eq. 8).

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V}) \quad (\text{eq. 8})$$

As plantas em bom estado vegetativo absorvem a maior parte da radiação V (uma vez que estão em plena fotossíntese) e reflectem uma grande parte da radiação IVP. Por outro lado, as plantas em stress reflectem mais radiação V e menos radiações IVP. Deste forma, quanto mais próximo da unidade o NDVI for, que é adimensional, melhor estado vegetativo se encontram as plantas e por consequência as culturas. De forma inversa, culturas com elevados níveis de stress (hídrico ou outro) apresentam valores de NDVI próximo de zero. Valores de NDVI negativos raramente são encontrados a não ser em superfícies de água.

Assim, o NDVI constitui-se como uma boa forma de medir a actividade fisiológica das plantas, que o por sua vez, na maioria das situações, está relacionado com a quantidade de biomassa, com o IAF e, finalmente, com a produtividade (Coelho. et al., 2009). No entanto, as relações entre o NDVI e as variáveis do crescimento das plantas não são universais havendo necessidade de as obter caso-a-caso por validação no terreno.

Além do NDVI, existem outros índices que nalguns casos reflectem melhor o estado fisiológico das plantas: Plant Cell Density (PCD) eq. 9; Photosynthetic Vigour Ratio (PVR) eq. 10 e o Plant Pigment Ratio (PPR) eq 11. com base na radiação V e IVP mas também na radiação verde G (500 a 600 nm) e azul A (400 a 500 nm)

$$PCD = IVP / V \quad (\text{eq. 9})$$

$$PVR = G / V \quad (\text{eq. 10})$$

$$PPR = V / A \quad (\text{eq. 11})$$

3.2.3 Condutividade eléctrica do solo

A condutividade eléctrica do solo exprime a capacidade deste em conduzir corrente eléctrica e é expressa em miliSiemens por metro (mS/m). Se a salinidade do solo não for muito elevada, a condutividade eléctrica pode também ser utilizada para estimar a variação de algumas propriedades físicas do solo, como por exemplo o teor em argila. Desta forma, existem sensores de campo que conseguem fazer medições da condutividade em tempo real, e que quando associados a um GPS, permitem a obtenção de uma carta da condutividade eléctrica aparente do solo.

Os sensores de condutividade eléctrica aparente do solo (CEa) são já bastantes utilizados e são uma forma eficaz de cartografar a variabilidade do solo nomeadamente no que diz respeito à retenção de água no solo.

As leituras da CEa são afectadas pelo teor de água no solo sendo aconselhável que os registos sejam feitos quando solo se encontra aproximadamente a 3/4 da capacidade de campo. Desta forma, os levantamentos deverão ocorrer aproximadamente no início da Primavera ou no Outono.

3.2.4 Monitores de produtividade

Um monitor de produtividade é um equipamento que permite a medição em tempo real da produtividade de uma cultura o que em conjugação com um receptor GPS permite apresentar esses dados em forma de carta. As cartas de produtividade são bastantes importantes em agricultura de precisão já que ela expõem de forma clara os padrões de uma das variáveis mais importantes na gestão agrícola: a produtividade.

Existem actualmente monitores de produtividade para diversas culturas (Pelletiera e Upadhyayab 1999; Thomas et al. 1999; Wilkerson et al. 2002; Bramley e Hamilton 2004). O

que se em seguida se explicita diz respeito sobretudo a monitores de produtividade montados em ceifeiras-debulhadoras.

Os monitores de produtividade integram diversos sensores e uma consola que permite ao operador interagir com o equipamento, verificar os valores dos sensores em tempo real e comunicar com o monitor através de um cartão de memória.

A consola do monitor de produtividade (Fig. 9) tem ainda a capacidade de processar os registos dos sensores, (quantidade colhida (kg), teor de humidade do grão, etc) de forma a fornecer também em tempo real estimativas da produtividade da cultura, da velocidade de deslocamento da ceifeira, da eficiência de trabalho, da quantidade de grão colhida, etc.



Figura 9 - Monitor de produtividade GreenStar 2630.

Os diversos sensores presentes na maioria dos monitores de produtividade são: antena GPS, sensor de fluxo de grão; sensor de humidade do grão; sensor de altura da barra de corte; e, sensor um sensor de velocidade ao solo por radar.

A (1) antena GPS é geralmente colocada no topo da cabine da ceifeira e regista em cada momento o posicionamento da máquina.

O (2) sensor de fluxo de grão é instalado na parte superior do elevador que dá acesso ao tegão. Estes sensores contêm uma placa de impacto que regista a força de impacto produzido pelos grãos ao colidirem com a placa. Uma vez que aquela força é proporcional à massa, torna-se possível determinar rapidamente a quantidade (kg) de grão colhida em casa momento.

Paralelamente ao sensor de fluxo de grão, existe ainda um sensor auxiliar para monitorizar a velocidade de rotação do elevador de grão, de modo a corrigir as leituras do sensor de fluxo, uma vez que a maiores velocidades de rotação, maior será a força com que o grão será impulsionado (Machado, et al., 2004).

O (3) sensor de humidade do grão localizado no elevador de grão (mais baixo que o sensor de fluxo) recebe continuamente amostras de grão, para que possa a cada instante medir a humidade do grão colhido. O sensor de humidade existe para complementar o sensor de fluxo de grão, permitindo expressar a massa de grão anulando as variações de humidade (Contradanças, 2008).

O (4) sensor de altura da barra de corte, que é quase sempre um interruptor mecânico accionada por uma mola presa à barra de corte, serve, como o próprio nome indica para controlar a altura da barra. Assim, quando esta se encontra em cima ou seja sem colher grão o monitor pare de registar dados. Caso este sensor não existisse, o monitor sabendo que a ceifeira se encontra em movimento e não havendo fluxo de grão, iria assumir uma produtividade nula, o que introduziria erro (Contradanças, 2008).

O (5) sensor de velocidade ao solo por radar tem como função fornecer ao monitor medições precisas da velocidade de deslocamento da ceifeira. É o produto entre a largura de corte e a velocidade de trabalho que permite determinar a área colhida em cada intervalo de tempo, e assim calcular a produtividade em kg/ha. Existem diversas fontes de velocidade possíveis na máquina, até pelo GPS, contudo já que a determinação da área colhida em cada intervalo de tempo tem um grande impacto na estimativa da produtividade, verifica-se a necessidade utilizar um sensor bastante rigoroso.

Os dados recolhidos pelo monitor de produtividade durante a colheita e posteriormente transportados para um computador pessoal através de um cartão de memória, são trabalhos num software específico fornecido pelo fabricante para produzir as cartas de produtividade finais.

Existem no mercado várias marcas de monitores de produtividade, oferecendo ao agricultor uma ampla gama quer de preços como de funcionalidades. Alguns monitores permitem a dupla funcionalidade de operarem como monitores de produtividade e também como controladores de VRT.

Antes de qualquer utilização, os monitores de produtividade devem ser calibrados. Isso implica que todos os sensores devem ser calibrados individualmente e por determinada ordem e posteriormente os valores obtidos devem conduzir à calibração do monitor como um todo (Braga 2009a).

O (1) primeiro sensor a calibrar deve ser o sensor de velocidade percorrendo uma determinada distância pré-conhecida em condições de campo. Deste modo, o valor obtido para a distância percorrida deve coincidir com o real. Caso contrário o sensor é ajustado até que isso passe a

acontecer. É importante que o terreno utilizado para esta calibração seja mesmo o terreno real, já que o sensor faz medição por reflexão de sinal radar.

Posteriormente deverá (2) ajustar-se o sensor de altura da barra de corte garantindo que o registo é desligado quando a barra se encontra levantada.

Para (3) calibrar o sensor de humidade do grão é necessário também calibrar o termómetro que lhe está associado. Isto faz-se por comparação com uma leitura junto do sensor depois de a máquina estar parada e à sombra durante algumas horas. A calibração do sensor de humidade faz-se também por comparação entre as leituras do sensor e um sensor de referência.

A (4) calibração do sensor de massa faz-se por comparação do peso total do grão colhido num tegão com um registo de referência (eg. balança de roboque de controladores). Devem utilizar-se vários registos de tegões com produtividades distintas, já que o fluxo de grão será igualmente distinto.

Um dado chave que tem que ser inserido na consola é a duração do desfasamento entre o corte da planta e a chegada do grão ao sensor de massa no topo do elevador. De facto, quando a ceifeira está a cortar as plantas num local, o sensor de massa está a registar grão de outro cujas plantas foram cortadas 12 segundos antes.

Desta forma, o monitor tem que estar programado com este desfasamento para poder armazenar correctamente todos os dados nas devidas coordenadas em que foram colhidos, para posteriormente se obter uma correcta carta de produtividade.

A área de amostragem da produtividade da cultura, que corresponde à resolução espacial máxima que é possível obter com o monitor de produtividade, é definida pela velocidade da máquina e pelo intervalo definido entre registos. A resolução espacial da operação, que é a mais pequena área de uma parcela para a qual podemos conhecer a produtividade, resulta do produto entre a resolução transversal e a resolução longitudinal.

A resolução transversal é perpendicular à direcção de deslocamento e é definida simplesmente pela largura de corte. A resolução longitudinal, segundo a direcção de deslocamento, é igual ao produto entre a velocidade de deslocação da ceifeira e um intervalo de tempo que pode ser definido pelo operador (um segundo, três segundos, etc.).

Quanto mais pequeno o valor deste intervalo de tempo maior será a resolução espacial da carta final, já que a área amostrada será menor.

O processo de monitorização da produtividade propriamente dito também carece de alguns cuidados. Assim, antes do início da operação é necessário (1) garantir que o sinal GPS está a ser correctamente recebido em todas as zonas da parcela. Parcelas localizadas em vales

fechados ou com extremidades junto a povoamentos florestais podem apresentar um desafio em relação a este aspecto. É também necessário (2) definir a largura de corte (número de linhas e espaçamento entre linhas no caso da cultura do milho)

Durante a operação de monitorização propriamente dita é muito importante (3) ajustar pontualmente este valor em tempo real da largura de corte, por exemplo quando a máquina se encontra numa cabeceira ou a colher alguma área que ficou para trás. Se este ajuste não for feito a produtividade vai ser bastante subestimada nesses pontos.

Outro cuidado a ter é a (4) não sobreposições passagens justapostas com o monitor ligado, já que o grão só pode ser colhida uma das vezes. Quanto à (5) velocidade de avanço da ceifeira, deve ser o mais constante possível evitando-se as variações bruscas e (6) mantendo sempre um valor acima de 1,5 km/h.

Mesmo calibrando correctamente o monitor de produtividade e obedecendo a todos os cuidados na preparação e operação, o processo de monitorização da produtividade está sempre sujeito a erros, como aliás todos os processos de medição. Simbahan et al (2004) classificou estes erros como sistemáticos e aleatórios. Thylen et al. (1997) agrupou os erros em 4 grupos: erros dos sensores, erros resultantes das condições durante a operação; erros do operador; e erros resultantes da estimativa da produtividade.

As principais fontes de erros estão relacionadas com calibração dos sensores e com erros do operador verificando-se também a existência de alguns erros praticamente inevitáveis como os que resultam da qualidade do sinal GPS recebido pela antena (Blackmore e Marshall, 1996; Blackmore e Moore, 1999). Também as cabeceiras das parcelas se apresentam como um desafio ao operador já que é necessário acelerar e desacelerar a ceifeira o que pode conduzir a erros. Noutras situações, algo comuns, em que a mesma parcela está a ser colhida por duas máquinas em simultâneo podem conduzir a erros tanto durante a operação (sobreposição de linhas) como posteriormente na consolidação dos dados.

Durante o processo de monitorização, o operador pode e deve registar em tempo real diversas ocorrências que mais tarde possam ajudar a interpretar a carta de produtividade, como por exemplo marcar zonas de elevada pedregosidade, zonas com elevada densidade de infestantes, etc.

3.2.5 Tecnologia de taxa variável (VRT)

A análise da variabilidade espacial da produtividade assim como da disponibilidade de recursos (solo, nutrientes, etc.) pode resultar na necessidade de aplicação com taxa variável

no espaço de uma parcela. Assim, ao contrário dos distribuidores convencionais em que a taxa a aplicar (determinada para as condições médias de uma parcela) é mantida constante durante toda a aplicação, nas aplicações com taxa variável a taxa a aplicar varia no espaço em funções de zonas pré-definidas. Esta possibilidade surge com os distribuidores munidos da tecnologia de taxa variável (VRT – variable rate technology) e possibilita, por exemplo, a adequada produtividade e eficiência do uso de nutrientes com simultânea redução do potencial para poluição ambiental (Robert, 1993; Mulla et al., 1992; Bongiovanni e Lowenberg-DeBoer, 2004; Mulla e Schepers, 1997; Wollenhaupt et al., 1994).

O objectivo é que em cada local de uma parcela seja aplicada a taxa desejada do factor de produção em causa de acordo com as necessidades de cada zona. O operador em vez de calibrar o distribuidor para uma taxa única, fornece através de um cartão de memória, uma carta de prescrição em que para cada zona da parcela é definida uma taxa de aplicação específica (Braga 2009c).

Os monitores VRT são constituídos por um GPS, um controlador VRT, um variador de fluxo e um sensor de velocidade radar (Braga 2009c). A antena GPS e o sensor de velocidade têm na tecnologia VRT o mesmo papel que têm nos monitores de produtividade. O controlador VRT com uma consola que permite a leitura da carta de prescrição e por sua vez dá a instrução ao variador de fluxo para alterar a taxa de aplicação em função do posicionamento. A variação da taxa é praticamente instantânea pelo que não se verificam problemas de desfasamentos.

A tecnologia de taxa variável pode ser radicalmente simplificada se o equipamento for munido de um sensor que permite originar uma prescrição em tempo real (Ribeiro et al., 2000). Antes da utilização da tecnologia VRT é necessário avaliar com rigor os ganhos económicos de tal prática, já que para funcionar, é necessário considerar o custo de obtenção da carta de prescrição o que pode em certas parcelas, inviabilizar o investimento (Swinton e Lowenberg-DeBoer, 1998).

3.3 Cartas de Produtividade, sua correcção e utilização

3.3.1 Filtragem dos dados do monitor de produtividade

Antes de proceder à elaboração da carta de produtividade é necessário filtrar os dados de forma a eliminar dados pouco fidedignos. A falta de filtragem dos dados pode conduzir a cartas de produtividade erróneas quer no padrão espacial de variabilidade quer na sua

magnitude. Estes erros conduzem a tomadas de decisão erradas que não só não melhoram a performance económica das parcelas como as prejudicam.

O resultado da monitorização da produtividade é um ficheiro com pontos georreferenciados, a que estão associados diversas variáveis como por exemplo o teor de humidade do grão, a velocidade de deslocamento da ceifeira, quantidade de grão colhido, a produtividade calculada, etc. Sobre estes dados em bruto têm sido desenvolvidos alguns métodos de filtragem.

Simbahan et al. (2004) desenvolveu um método de filtragem em 6 passos sucessivos considerando pontos com a barra de corte em cima; pontos com desfaseamento no início e fim das linhas; outliers de fluxo do grão, distancia percorrida e humidade do grão; pontos em que a produtividade excede os limites mínimos e máximos biológicos; outliers locais; e segmentos de pequena dimensão e pontos de igual posicionamento. O algoritmo foi aplicado a parcelas com milho tendo removido entre 13 e 20% dos dados originais, com 72 a 85 % dos dados a serem removidos logo nos dois primeiros filtros.

Beck et al. (1999) apresentaram um programa de filtragem de dados incorrectos, baseado nos intervalos aceitáveis para a produtividade, humidade, distâncias percorridas apropriadas, ocorrências pontuais de valores de fluxo de grão anormais, viragens da ceifeira e sobreposição de passagens que eliminou 10% dos dados em bruto.

Diversos outros autores apresentaram também métodos para filtragem com princípios idênticos variando apenas no número de filtros e critérios para cada filtro (Shearer et al., 1997; Moore 1998; Blackmore e Moore, 1999; Arsan e Colvin, 2002; Kleijman et al. 2002; Menegatti e Molin 2003; Ping e Dobermann 2005; Sudduth e Drummond 2007).

De acordo com Tylen et al., (2001), Kleijman et al., (2002) e Noack et al., (2003), a aplicação destes métodos de filtragem melhora a distribuição da frequência de produtividade, assim como o seu arranjo espacial e a correlação das cartas de produtividade com imagens de detecção remota. No entanto, como é referido por Simbahan, et al (2004), os programas desenvolvidos apenas contemplam algumas fontes de erro, além de que existem diferenças entre os próprios programas, como é o caso dos critérios utilizados para desenvolver os algoritmos de filtragem.

3.3.2 Obtenção da carta de produtividade

As cartas de produtividade pós processadas, por terem sido filtradas apresentam porções da parcela sem qualquer dado. Dessa forma torna-se necessário fazer uma interpolação espacial desses atributos em falta. Existem diversos métodos para fazer interpolação

espacial. O método mais simples – IDW – inverse distance weighting - utiliza os pontos da vizinhança ponderando-os em função do inverso da distância. O método mais aceite, estatisticamente válido é o kriging.

Segundo Vieira (2000) o kriging é uma técnica utilizada na geoestatística para estimar valores de propriedades para os locais em que esta propriedade não foi medida. Vieira (2000) refere ainda que para que este método seja usado é necessário que exista uma dependência espacial nos dados, definida pelo semivariograma. Assim, o kriging é um processo onde se estimam valores de propriedades espacialmente distribuídas, a partir de valores adjacentes interdependentes (Vieira et al., 1983; Isaaks e Srivastava, 1989).

O semivariograma é caracterizado pela semivariância no ponto (nugget/pepita), a semivariância total (sill/patamar) e o alcance (Isaaks e Srivastava, 1989). O rácio entre a semivariância no ponto (nugget/pepita) e a semivariância total (sill/patamar) é frequentemente utilizado para caracterizar o grau de dependência espacial dos dados ($\leq 25\%$ - elevada dependência espacial i.e. organização da variável em manchas bem definidas; entre 26% e 75% - dependência espacial moderada; $> 75\%$ - fraca dependência espacial (ou nula se o valor atinge 100%).

A estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem, possibilita estabelecer uma carta da totalidade da área em estudo, para qualquer variável em estudo.

3.3.3 Valorização da carta de produtividade

As cartas de produtividade constituem-se como peças particularmente importantes em agricultura de precisão já que, por um lado, espelham o resultado final de todo o processo produtivo e, por outro, a produtividade é uma variável essencial na determinação da margem bruta e posteriormente do rendimento das explorações agrícolas (Blackmore 2000, Arslan e Colvin 2002; Coelho et al. 2004).

As cartas de produtividade são, ainda, um dos pontos de partida para a aplicação diferenciada de factores de produção como por exemplo fertilizantes (Birrell et al., 1996, Dingemans, 1997, Serrano e Peça 2009). Neste contexto, podem ser considerados como uma das bases para instrumentos de suporte à tomada de decisão em VRT através da criação de zonas de manejo homogéneo (management zones) para determinado factor de produção (nutrientes, água, etc.).

As zonas de manejo homogéneo também podem ser identificadas com base em determinações directas como por exemplo análises de solos, níveis de infestação de pragas ou de infestantes, etc. ou em formas combinadas através de indicadores compostos (Molin 2010).

As cartas de produtividade podem começar por ser caracterizadas quer em termos de estatísticas descritivas (média, desvio padrão, coeficiente de variação, etc.) quer em termos do grau de estrutura espacial da variabilidade. Posteriormente as cartas de produtividade podem ser convertidas em cartas de margem bruta realçando em zonas da parcela em que o resultado económico é positivo, negativo ou neutro.

O tratamento das cartas de produtividade e margem bruta pode ser feita ao nível do valor absoluto da grandeza assim como do valor relativo. O valor relativo pode ser obtido de diversas formas: standardização com base na média e desvio padrão, pelos percentis, pelo ranking entre os valores extremos, por indexação ao valor menor valor, por indexação ao valor médio, etc. O tratamento das cartas em termos de valores relativos tem como vantagem a mais fácil e correcta comparação de cartas de anos com significativas diferenças de valores médios ou então de cartas de culturas distintos. Esta ultima situação torna-se particularmente relevante quando são analisadas cartas de produtividade de diferentes culturas semeadas numa mesma parcela em rotação.

A classificação dos dados através da criação de classes quer nas cartas de produtividade quer nas de margem bruta pode fazer-se com base numa série de métodos. Os mais comuns são a divisão em classes de igual amplitude ou classes de amplitude variável como os quantis ou múltiplos do desvio padrão. Existe ainda um método muito utilizado em determinados pacotes de software que é o “Natural Breaks (Jenks Method)”. Este método procura determinar o melhor arranjo dos dados em diferentes classes através da minimização dos desvios às médias em cada classe e maximização dos desvios de cada classe às médias das restantes classes.

Surgem também métodos de classificação dos valores das cartas que se baseiam em análise de componentes principais e análise de clusters. Estes métodos são sobretudo utilizados em situações em que a classificação é feita tendo por base não apenas uma variável, a produtividade por exemplo, mas sim várias variáveis como cartas de teor de nutrientes do solo, cartas de condutividade eléctrica do solo, etc.

Na presença de mais de um ano de cartas, é possível ainda contrastar a variabilidade espacial com a variabilidade temporal fazendo uma análise espaço-temporal (Blackmore 2000; Blackmore et al 2003; Marques da Silva 2006). Nestas condições, é frequente estar

disponível, para uma mesma parcela, cartas de diferentes culturas. Nestes casos é necessário estandardizar as produtividades de cada ano antes de efectuar qualquer análise. A primeira fase da análise consiste na carta de tendência espacial que é obtida pela média da produtividade entre os anos para cada ponto. Na segunda fase obtém-se a carta de estabilidade temporal através do cálculo do desvio padrão entre os anos para cada ponto ou da amplitude de variação no caso de se analisarem apenas dois anos. Finalmente, são criadas 3 classes correspondentes a (1) elevada produtividade e baixo desvio padrão; (2) baixa produtividade e baixo desvio padrão e (3) elevado desvio padrão. Elevada e baixa produtividade é em geral definida em função da média ou mediana. Baixo desvio padrão é em geral definido de forma arbitrária.

A classificação resultante da análise espaço-temporal é bastante relevante no que toca à posterior forma de acção sobre a parcela. Uma zona da parcela com baixo desvio padrão, quer a média seja elevada ou baixa, apresenta uma performance estável e portanto previsível. Pelo contrário, as zonas com elevado desvio padrão são imprevisíveis. Este comportamento resulta, na maioria das situações, da causa diferenciada da variação de produtividade e tem consequência no processo de decisão sobre a forma de a adereçar.

Outras ferramentas como as fotografias aéreas, imagens de satélite (e.g. NDVI) ou condutividade do solo, permitem também auxiliar na identificação de zonas de manejo homogéneo das parcelas, mas no entanto, nenhuma informação é mais real que a própria resposta da cultura em produtividade.

Perante a análise de cartas de produtividade uma das questões que frequentemente se coloca ao empresário é se técnica e economicamente racional adoptar uma estratégia de actuação em VRT ou se, pelo contrário, continua a ser mais vantajoso manter uma actuação não diferenciada (Whelan e McBratney, 2000). A decisão encerra diversas dimensões, entre elas a económica, a técnica e a logística. A carta de margem bruta constitui-se como uma boa base de decisão quanto à dimensão económica. As dimensões técnica e logística prendem-se com questões de magnitude de variabilidade espacial, por um lado, e por outro, com questões de organização dessa variabilidade espacial. Podem ocorrer situações em que existe variabilidade significativa mas que ela se encontra de tal forma dispersa na parcela que se torna inviável geri-la diferenciadamente.

McBratney et al. (2000) definiram um índice de oportunidade que pretende exprimir a vantagem relativa do tratamento em VRT face ao tratamento clássico não diferenciado. Aquele índice de oportunidade contempla diversas componentes, nomeadamente a magnitude de variação, a estrutura espacial da variação, a económica e a ambiental.

4. Material e métodos

A componente experimental foi efectuada numa parcela comercial semeada com milho nas campanhas de 2010 e 2011.

4.1 Localização da Parcela

A parcela em estudo encontra-se na lezíria da Golegã, nas coordenadas geográficas 39,388° de latitude norte e 8,491° de longitude oeste na propriedade Barracão do Duque, que pertence à Sociedade Agrícola Quinta da Lagoalva de Cima SA. Trata-se de uma parcela com 22,9 hectares com reduzidos declives e em que se encontra instalada uma rampa pivotante e um sistema de rega por aspersores fixos em cada canto.



Figura 10 - Localização da parcela em estudo (área a vermelho).
Fonte: Google Maps.

4.2 Caracterização climática e agrometereológica

Os dados climáticos utilizados para a caracterização climática da zona em estudo foram recolhidos na estação meteorológica de Santarém, por serem os dados disponíveis mais próximos da Golegã (30 km).

No Quadro 3 constam os valores médios mensais das normais (1971-2000) para as principais variáveis climáticas. Assim, a temperatura média diária do ar é de 16,0 °C, oscilando entre 9,6 °C em Janeiro e 22,7 °C em Agosto, sendo a amplitude média anual de 13,1 °C. A média das

temperaturas máximas mensais atinge o máximo em Agosto com 30,2 °C, enquanto a média das temperaturas mínimas mensais atinge o mínimo em Janeiro com 4,9 °C.

Quadro 3 - Dados climatológicos (médias de 30 anos) para a estação meteorológica de Santarém.
(Fonte: Instituto de Meteorologia, 2001).

MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
JAN	9,6	14,3	4,9	5,7	90,6	121,3	92,5	12,2	3,5	4,2
FEV	11	15,8	6,2	6,8	88,2	133,1	79,3	13,1	3,8	1,8
MAR	12,9	18,4	7,3	6,4	81,5	193,5	50	10,2	2,1	0,8
ABR	14,1	19,6	8,6	6,7	77,2	216	65,7	10,3	1,8	0
MAI	16,5	22,3	10,6	7	71,4	276,9	56,2	7,9	1,5	0
JUN	20	26,7	13,3	6,9	69,4	298,3	22,5	5,1	0,7	0
JUL	22,6	30	15,2	7,4	65,9	337,3	7,3	1,5	0,1	0
AGO	22,7	30,2	15,3	7,3	66,9	340,6	6,2	1,3	0,1	0
SET	21	28	14,1	5,8	75,5	241,1	36,2	5,2	0,9	0
OUT	17,1	22,7	11,6	5,8	81,4	193,5	84,3	9,9	2,8	0,1
NOV	13,2	18	8,4	5,3	88,5	139,8	92,2	12	3,4	1,2
DEZ	10,8	15	6,5	5,7	90,1	128	104,1	11,9	4	3,5
ANO	16,0	21,8	10,2	6,4	78,9	2619,2	696,5	100,6	24,6	11,5

- 1- Temperatura média do ar (°C)
- 2- Temperatura média das máximas (°C)
- 3- Temperatura média das mínimas (°C)
- 4- Velocidade média do vento (km/h)
- 5- Humidade relativa às 9h (%)
- 6- Insolação total (horas)
- 7- Precipitação (mm)
- 8- Nº de dias com precipitação >= 0,1mm (dias)
- 9- Nº de dias com precipitação >= 10mm (dias)
- 10- Nº de dias de geada (dias)

O número de horas de sol limpo (insolação) é da ordem das 2619,2h por ano. Considerando que a cultura do milho se desenvolve durante os meses de Março a Setembro, a insolação durante esse período totaliza cerca de 1903,6h.

A precipitação média anual atinge os 696,5 mm, sendo Agosto o mês mais seco (6,2 mm) e Dezembro o mês mais húmido (104,1 mm).

A Figura 11 apresenta o diagrama Ombrotérmico de Gaussen relativo à normal (1971-2000). Pode observar-se a ocorrência de um período quente e seco entre os meses de 4 meses entre Junho e Setembro característico da região mediterrânica.

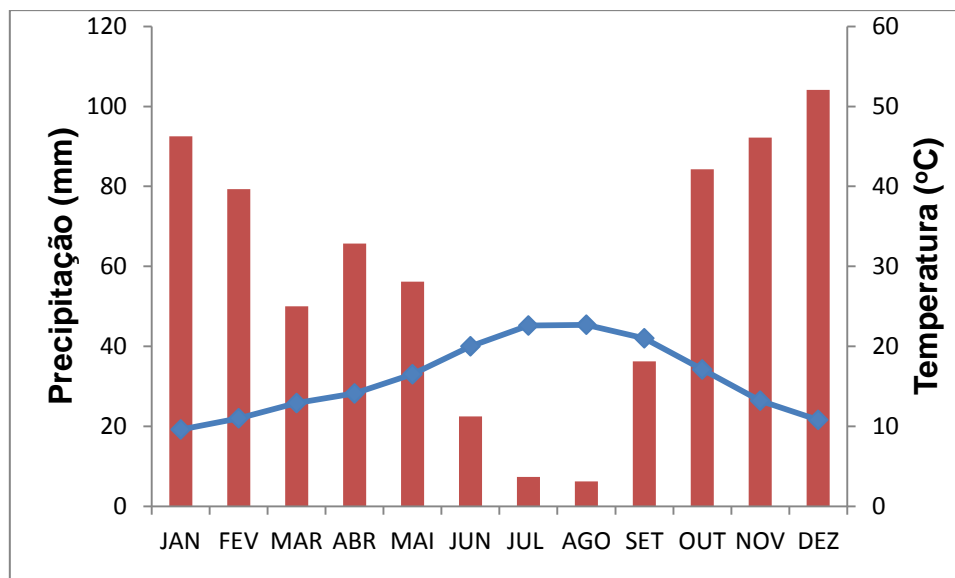


Figura 11 - Diagrama Ombrotérmico de Gaussen relativo à normal 1971-2000.

Relativamente aos anos de 2010 e 2011, os diagramas Ombrotérmicos de Gaussen encontram-se nas Fig. 12 e 13. 2010 foi ano com uma temperatura média anual de 15,8°C enquanto que em 2011 esse valor foi de 16,9°C, ou seja 2011 foi em média um ano mais quente. Contudo, durante o período da cultura (entre Maio e Setembro) a média das médias mensais foi bastante idêntica (21,5°C e 21,2°C em 2010 e 2011, respectivamente). Quanto a precipitação, em 2010 ocorreram 766,8 mm e em 2011 607,6 mm ou seja 2010 foi um ano um pouco mais chuvoso. Durante a período cultural, em 2010 a precipitação foi de 47,6 mm e em 2011 de 96,8 mm ou seja o ano de 2010 foi bastante mais seco do que o de 2011.

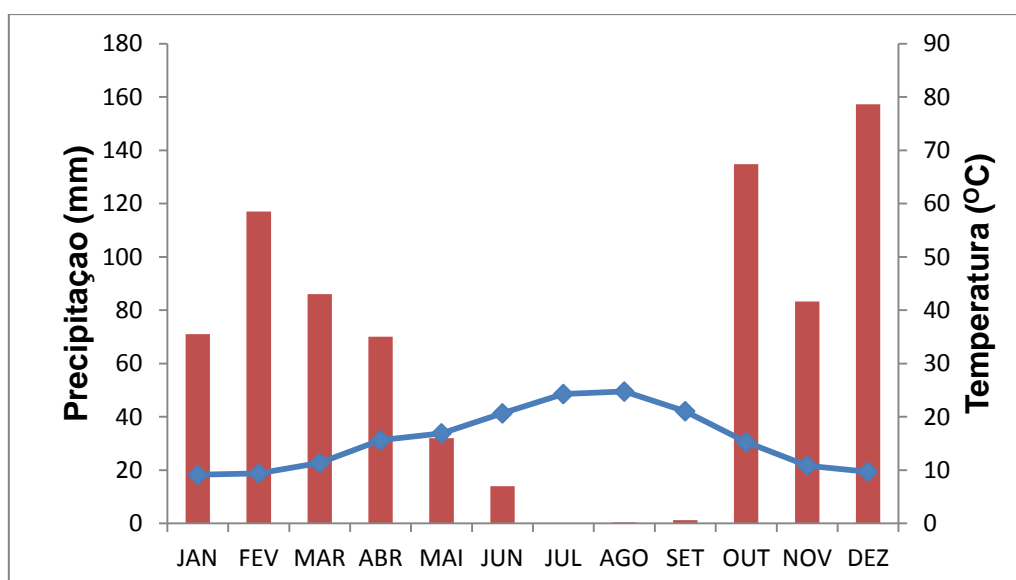


Figura 12 - Diagrama Ombrotérmico de Gaussen relativo à precipitação e temperatura média do ano 2010.

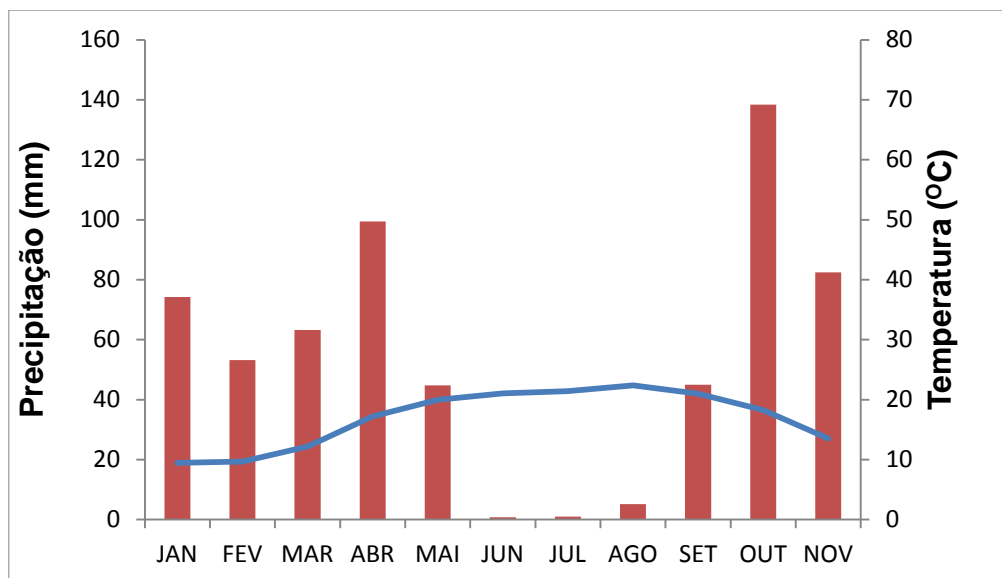


Figura 13 - Diagrama Ombrotérmico de Gausson relativo á precipitação e temperaturas médias de 2011.

O período seco em 2010 foi de 5 meses (Maio a Setembro) enquanto que em 2011 esse período foi de apenas 3 meses (Junho a Agosto).

4.3 Caracterização edáfica

De acordo com Figueira (1997), o campo da Golegã é constituído por aluviosolos modernos profundos de textura ligeira calcários ou textura mediana calcários. São solos não evoluídos, sem horizontes genéticos claramente diferenciados, praticamente reduzidos ao material originário, não hidromórficos, constituídos por depósitos estratificados de aluviões. São constituídos por materiais detríticos minerais e orgânicos, transportados pelas águas fluviais, desde os saibros e areias grosseiras às partículas mais finas de argila.

4.4 Itinerário cultural e conta de cultura

Antes da sementeira foi feita uma adubação de fundo a lanço com o adubo Korn-Kali (KALI) à taxa 200 kg/ha com vista à reposição dos níveis de potássio, magnésio e enxofre extraídos pela cultura anterior (milho). Quimicamente o adubo é constituído por cloreto de potássio, sulfato de magnésio, cloreto de sódio. As proporções de nutrientes no adubo são: 40% K_2O ; 6% MgO ; 4% Na_2O e 12% SO_3 . Desta forma foram veiculadas 80 unidades de K_2O .

A sementeira com a variedade PIONEER PR33G44 ocorreu nos dias 2 e 3 de Maio de 2010 à densidade de plantas de 8 plantas/m² com semeador de sementeira directa. No decorrer

da sementeira foi também feita uma adubação localizada de um adubo AMICOTE 15-35-0 LZn STARTER (ADP), com 15% azoto total, 2% azoto nítrico, 13% azoto amoniacal, 28% P_2O_5 e 1% Zn à taxa de 200 kg/ha e uma aplicação de herbicida Aspect (Bayer Cropscience) em pré-emergência. Foi feita uma nova aplicação de herbicida pós-emergência no dia 5 de Junho. O Aspect é um herbicida misto (mono e dicotiledóneas), formulado em suspensão concentrada de flufenancete (200 g/l) e terbutilazina (333 g/l), com absorção essencialmente radicular e também foliar, de acção residual e de contacto foliar.

Durante o ciclo foram feitas adubações fraccionadas por fertirrega, usando o adubo Nitromais Zn 30%, num total de 450 kg/ha. A quantidade total de macronutrientes principais aplicada durante o ciclo foi de 165 unidades de azoto, 56 de fósforo e 80 de potássio.

A rega aplicada em 2011 totalizou 548 mm distribuídos por Maio 40mm (3 regas), Junho 95mm (4 regas), Junho 168mm (4 regas), Agosto 215mm (5 regas) e Setembro 30mm (1 rega). A última rega ocorreu na primeira semana de Setembro. A dotação média por rega variou entre os 13mm em Maio até aos 54mm em Agosto. A evapotranspiração cultural foi estimada em 676 mm utilizando o método de Hargreaves. Desta forma, fazendo o balanço ao ciclo, tendo em conta a precipitação de 97mm e a rega de 548mm resulta uma variação de armazenamento de -31mm o que é consentâneo como a hipótese de ausência de stress durante o ciclo. Em 2010, a evapotranspiração cultural foi estimada em 711 mm, com uma precipitação de 48mm, resultando numa necessidade de rega global de 663 mm.

A colheita foi efectuada no dia 3 de Outubro de 2011.

Os custos variáveis inerentes à cultura do milho no ano de 2011, apresentados no Quadro 4, foram relativos a semente, herbicidas, adubos, agroquímicos, assistências, trabalho de máquinas, água, electricidade, colheita, transporte e secagem do milho. Estes custos totalizaram 1237 €/ha sendo por ordem decrescente de peso resultantes da fertilização (25,9%), da semente (17,8%), das máquinas (16,2%), água/electricidade para a rega (13,7%) e restantes (26,4%). Foi considerado um preço de grão de milho de 210 €/t. Desta forma, o limiar de rentabilidade é de aproximadamente 5,9 t/ha.

Em 2010 a parcela foi semeada com a cultivar PIONEER PR33Y74. Não foi possível obter dados mais específicos para o itinerário cultural em 2010, contudo fomos informados de que foi bastante idêntico a 2011.

Quadro 4 - Custos variáveis (€/ha) da cultura de milho em 2011.

item	€/ha	%
Semente	220	17,8
Herbicida	36	2,9
Fertilização	320	25,9
Agroquímicos	12	1,0
Assistências	30	2,4
Trabalho de máquinas	200	16,2
Água / Electricidade	170	13,7
Transporte	45	3,6
Colheita	95	7,7
Secagem	110	8,9
Total	1238	

4.5 Ceifeira e monitor de produtividade

A colheita do milho foi efectuada por uma ceifeira John Deere T560 equipada com um monitor de produtividade GreenStar 2 Display 2600 em 2010 no dia 4 de Outubro e por duas ceifeiras iguais equipadas com monitor de produtividade GreenStar 2 Display 2600 e GreenStar 3 Display 2630 em 2011 no dia 3 de Outubro. A barra de corte tinha a largura de 4,5 m correspondentes a 6 linhas de milho.

Os monitores de produtividade foram calibrados pelo prestador de serviços (Sr. Luís Martins – John Deere - Golegã) que efectuou a colheita respeitando todos os requisitos explícitos no manual do equipamento. O intervalo entre registos foi de 1s. O prestador de serviços efectuou ainda o transporte dos dados entre o monitor e o portátil em que tem instalado o software de gestão de dados da John Deere: APEX.

4.6 Filtragem dos dados

Os dados resultantes da monitorização da produtividade foram exportados do software APEX (John Deere) em formato cvs e importados para um software específico para SIG onde foram efectuadas todos os passes de filtragem assim como restantes manipulações dos dados.

O processo de filtragem aplicado aos dados em bruto resultou de uma adaptação das metodologias utilizadas por Blackmore e Moore (1999), Arslan e Colvin (2002), Menegatti e Molin (2003) e Simbahan (2004). Deste modo, criou-se um método de filtragem dos dados progressivo com 7 fases semi-automáticas (o filtro 7 é manual):

Filtro 1 - Remoção de registos que se encontram fora dos limites da parcela. A ocorrência destes pontos está relacionada com erro do operador ao baixar a barra de corte com o monitor ligado fora do limite da parcela.

Filtro 2 - Remoção dos registos com valor de produtividade 0 (zero). Estes registos com produtividade nula resultam essencialmente, tal como os pontos removidos pelo filtro 1, do deslocamento da ceifeira com a barra de corte em baixo, o que faz com que o monitor continue a registar pontos, mas como não está a haver fluxo de grão estes registos tomam valores nulos.

Filtro 3 - Remoção de registos com valores de velocidade inferiores a 1,6 km/h e superiores a 10 km/h. Este filtro aplica-se em resultado de os monitores de produtividade serem projectados e calibrados para operarem a velocidades de colheita médias. Se a ceifeira se encontrar parada e ainda existir semente a ser debulhada e a passar pelos sensores, o monitor ao fazer a sua conversão para produtividade, vai dividir a quantidade de semente pela área. Uma vez que a ceifeira se encontra parada ou em deslocamento muito lento, a área aproxima-se do valor zero, pelo que o resultado da produtividade vai-se aproximar de infinito. Por esta razão, os resultados para valores abaixo dos 1,6 km/h são removidos.

Filtro 4 – Remoção de registos com fluxo de grão fora dos limites para os quais os monitores se encontram concebidos e calibrados. Assim, registos com valores de fluxo de grão acima de 19 kg/s e abaixo de 1,7 kg/s são removidos, uma vez que para valores foras destes limites, o risco de ocorrência de erros aumenta.

Filtro 5 – Remoção de registos com valores outliers para a humidade calculados pela eq 12:

$$[\text{média} - 3 \times \text{desv.pad.} > \text{humidade} > \text{média} + 3 \times \text{desv.pad.}] \quad (\text{Eq. 12})$$

Filtro 6 – Remoção de registos com valores de produtividade fora dos limites biológicos (produtividade atingível) de produtividade do milho. O valor assumido como sendo o máximo atingível para a produtividade em seco foi de 22 t/ha, com base em especialistas locais.

Filtro 7 – Remoção dos registos resultantes da largura de trabalho ser inferior a 4,5 metros por inspecção visual. Estes registos resultam de a ceifeira não estar a cortar com todas as 6 linhas, e essa alteração não ter sido considerada pelo operador.

A validação do método de correcção dos dados por filtragem foi efectuada através da comparação do grau de dependência espacial evidenciado pelos dados originais e filtrados

para cada ano. O grau de dependência espacial foi determinado pelo rácio entre a semivariância no ponto (nugget/pepita) e a semivariância total (sill/patamar).

4.7 Obtenção da carta de produtividade

Após a aplicação do método de filtragem descrito anteriormente, as cartas de produtividade foram obtidas por kriging após a modelação do semivariograma. A modelação do semivariograma foi efectuada no software SURFER. Os parâmetros do modelo do semivariograma foram posteriormente incorporados no software de SIG para efectuar a extrapolação espacial propriamente dita. Neste processo, colocou-se como limite espacial os contornos da parcela em causa e utilizou-se uma dimensão de célula igual a 4,5 m. Este valor corresponde à largura da barra de corte da ceifeira-debulhadora uma vez que não faz sentido extrapolar os dados em resoluções superiores às existentes nos dados originais.

4.8 Valorização da carta de produtividade

A valorização das cartas de produtividade em ambos os anos (2010 e 2011) iniciou-se pela sua detalhada (1) descrição através de estatísticas descritivas: média, desvio padrão, coeficiente de variação, máximo, mínimo, quantis, etc. Seguidamente, caracterizou-se o (2) grau de dependência espacial através do alcance e do rácio entre a semivariância no ponto (nugget/pepita) e a semivariância total (sill/patamar). A fase seguinte foi a de tentar (3) interpretar os padrões de variabilidade espacial encontrada assim como as diferenças de ano para ano. Para esse efeito, os resultados alcançados nas etapas anteriores foram apresentados ao gestor agrícola da parcela (Eng. Abílio Pereira) de forma que em conjunto se conseguisse analisar e perceber as causas da variabilidade.

Posteriormente, as cartas foram (4) convertidas em cartas de produtividade relativas utilizando a menor produtividade como índice zero e a maior produtividade como índice 100. A (5) determinação das cartas de margem bruta foi o passo seguinte. Para tal utilizou-se a eq. 13 em que PG é o preço do grão (210 €/t) e CV os custos variáveis (1238 €/ha)

$$\text{Margem Bruta} = \text{PG} * \text{Produtividade (t/ha)} - \text{CV} \quad (\text{eq 13})$$

As cartas obtidas foram classificadas ao algoritmo “Natural Breaks (Jenks Method)”.

Finalmente foi feita uma (6) análise espaço-temporal, comparando a carta de tendência espacial com a de estabilidade temporal de modo a classificar as diferentes zonas da parcela como “produtividade elevada estável”, “produtividade baixa estável” e “instável”. A tendência espacial foi caracterizada pela média das produtividades para cada ponto nos

dois anos. A estabilidade temporal foi caracterizada pela diferença de produtividade para cada ponto nos dois anos. Esta aproximação à estabilidade temporal tornou-se viável devido à disponibilidade de apenas dois anos de cartas de produtividade. Como critério para a definição de elevada e baixa produtividade assim como estabilidade ou instabilidade temporal da produtividade utilizou-se a média das médias e das diferenças das produtividades para cada ponto, respectivamente.

Com o objectivo de perceber as consequências de variabilidade espacial no crescimento das plantas (7) foi obtida, através de uma empresa de prestação de serviços, no ano de 2011 uma fotografia aérea no visível e no infra-vermelho próximo no dia 22 de Julho, com a qual foi obtido uma carta de NDVI. Nessa carta foram marcados 3 pontos de amostragem contrariantes, nos quais foi efectuada uma análise de componentes de produtividade numa lógica de “ground truthing”.

A área de amostragem foi de 3m² em cada zona no final da maturação (final de Setembro). As plantas foram contadas e pesadas individualmente. Seguidamente foi registado: o número de espigas por planta; o número de grãos por espiga (Fig. 14); o peso seco de mil grãos; o peso seco de caules e folhas por planta, o peso da espiga (carolo e grãos), o peso seco dos grãos por espiga, o peso seco do carolo.

Além da imagem obtida no ano de 2011, foram também obtidas nos diversos sistemas gratuitos existentes (Google Maps e Bing Maps) na internet diversas imagens da parcela. Finalmente, todas as metodologias foram integradas no sentido de propor uma carta de zonagem de manejo homogéneo.



Figura 14 - Aparelho de contagem de número de grãos.

5. Resultados e Discussão

5.1 Filtragem dos dados

As Fig 15 e 16 mostram as cartas dos dados da produtividade em bruto respectivamente para os anos de 2010 e 2011. Estas cartas não se apresentam como uma superfície mas sim como um conjunto de pontos em que cada ponto corresponde a uma leitura do monitor de produtividade (Fig. 17). Pela observação dos dados da produtividade em bruto pode constatar-se empiricamente que existem diversos pontos que não correspondem a registos correctos quer pela sua localização fora do alinhamento da máquina quer pelos valores irrealis apresentados. De facto, por exemplo a produtividade máxima registada nos dados em bruto foi de 114,03 t/ha em 2010 e 108,34 t/ha em 2011.

O número total de registos em 2010 foi de 36494 e em 2011 de 34124.

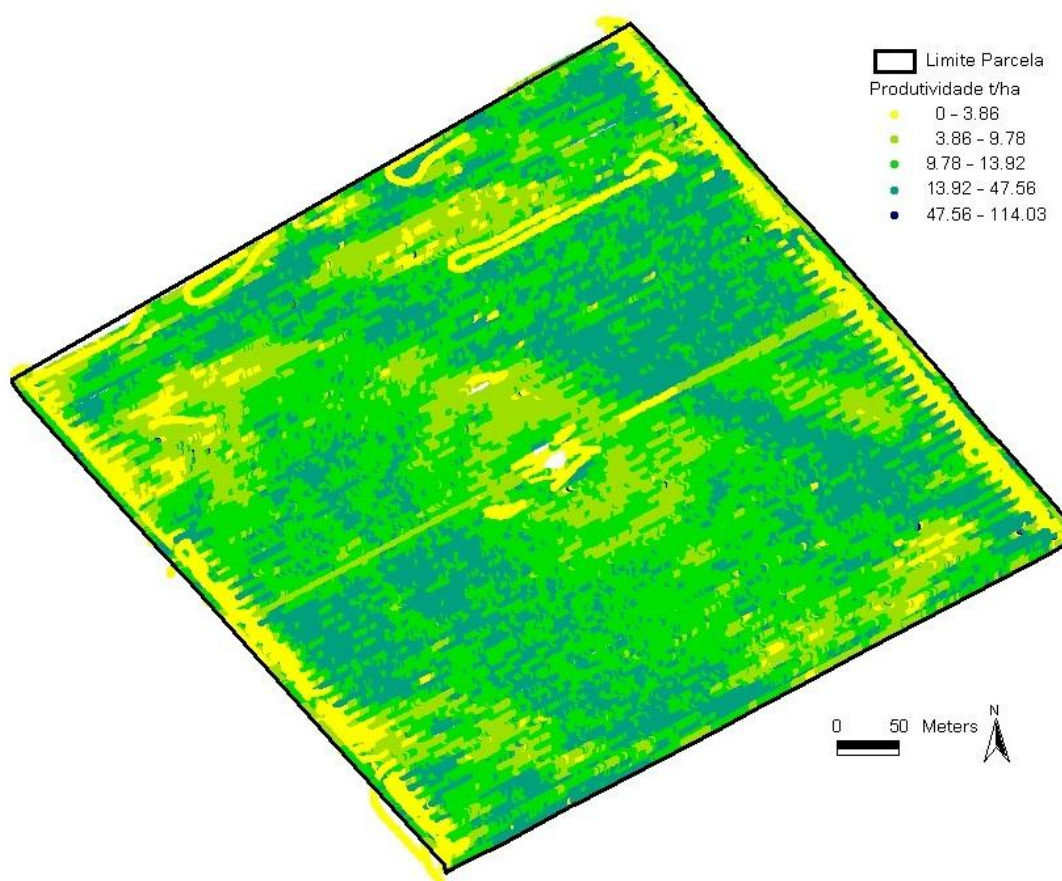


Figura 15 - Carta dos dados da produtividade em bruto para o ano de 2010.

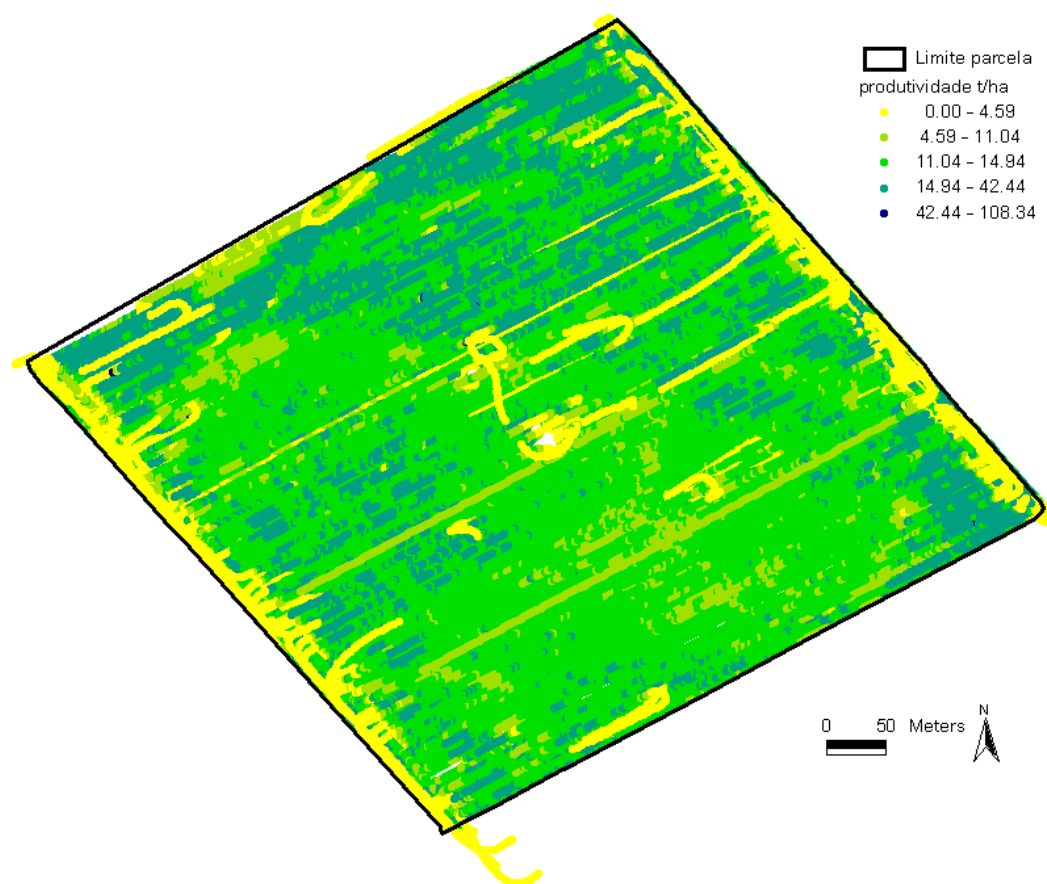


Figura 16 - Carta dos dados da produtividade em bruto para o ano de 2011.

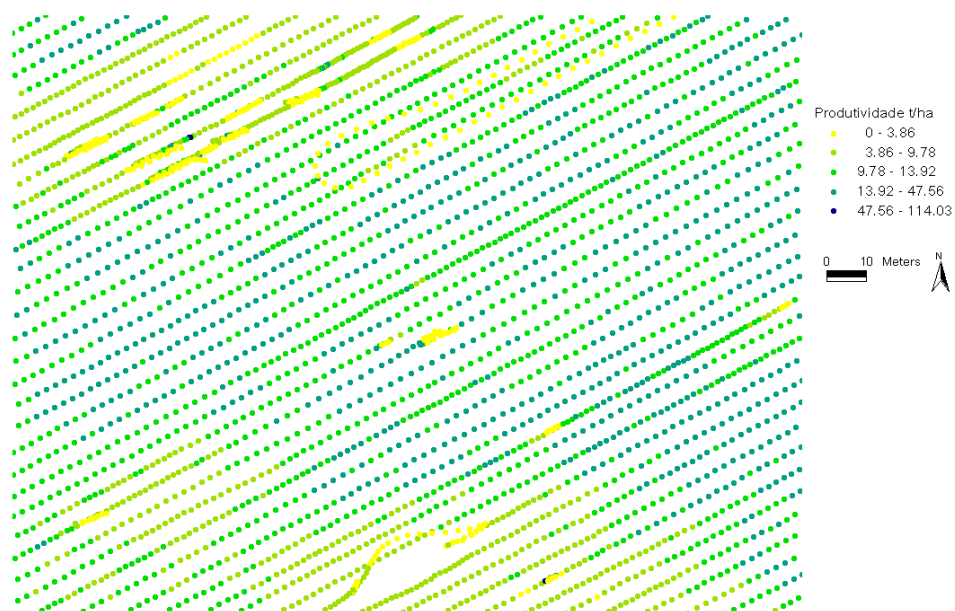


Figura 17 - Pormenor da carta dos dados da produtividade em bruto para o ano de 2010.

Apresentam-se de seguida os resultados da aplicação dos filtros utilizados para eliminar dados pouco fidedignos.

Deste modo em 2010:

- No filtro 1 (registos fora dos limites da parcela) foram eliminados 181 registos, isto é, 0,46% dos registos originais. Após a aplicação deste filtro sobraram 36313 registos;
- No filtro 2 (registos com valor de produtividade zero) foram eliminados 5962 registos correspondendo a 16,30% dos registos originais (Fig. 18). Estes registos encontram-se sobretudo agrupados nas cabeceiras, o que resulta do facto de aquela área ter sido colhida previamente, e portanto, à segunda passagem já não ter grão para colher. Após a aplicação deste filtro sobraram 30351 registos;

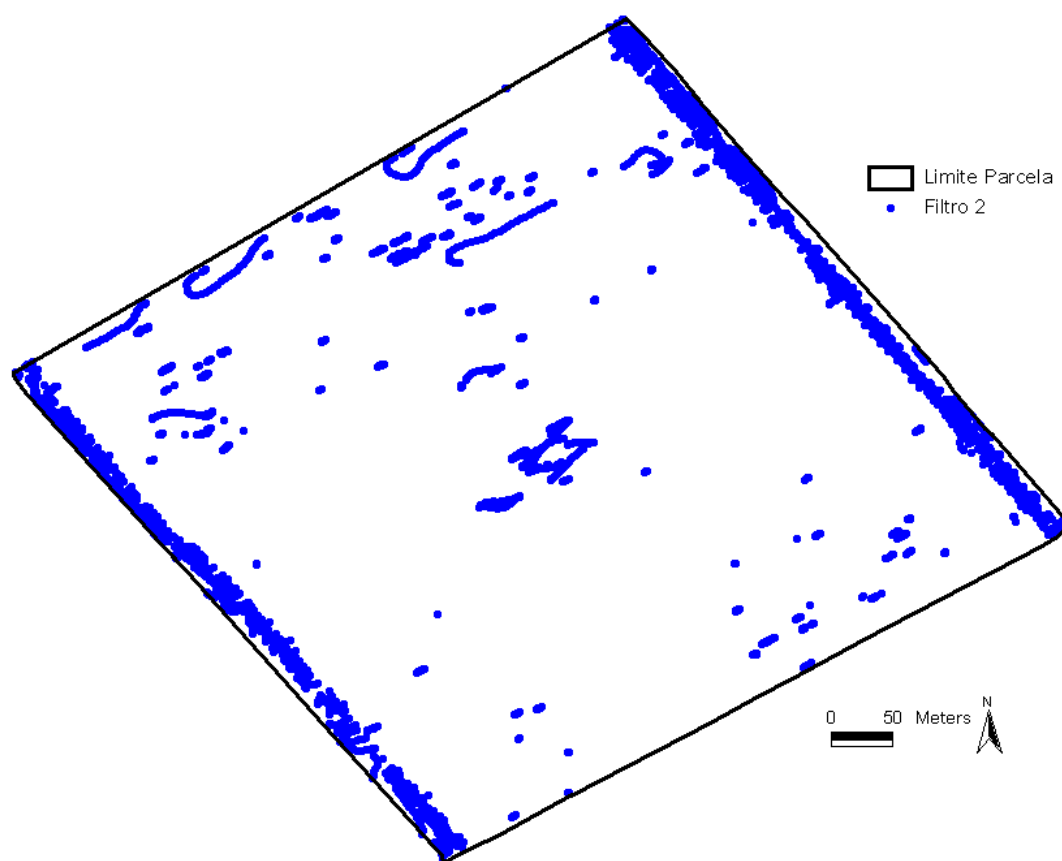


Figura 18 - Carta de registos removidos pelo filtro 2 para o ano de 2010.

- No filtro 3 (registos com velocidade inferiores a 1,6 km/h e superiores a 10 km/h) foram removidos 537 registos (1,47% dos registos originais), de entre os quais 484 por terem valores de velocidade inferiores a 1,6 km/h e 53 por terem valores de velocidade superior a 10 km/h (Fig. 19). Após este filtro sobraram 29814 registos;

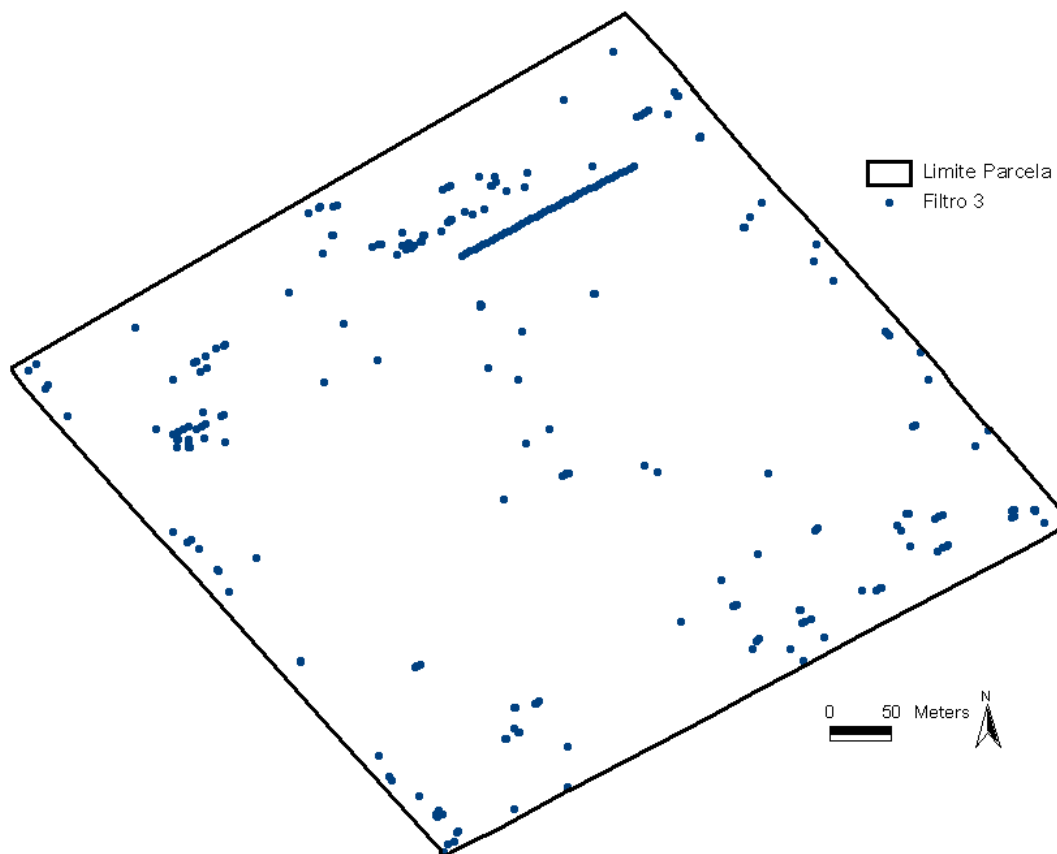


Figura 19 - Carta de registos removidos pelo filtro 3 para o ano 2010.

- No filtro 4 (registos com fluxo de grão acima de 19 kg/s e abaixo de 1,7 kg/s) foram eliminados 948 pontos correspondendo a 2,60% dos registos originais (Fig. 20). Destes, 729 foram eliminados por terem valores de fluxo de grão inferior a 1,7 kg/s e 219 por serem superiores a 19 kg/s. Após este filtro sobraram 28866 registos;

- Na filtro 5 (registos outliers para a humidade) foram eliminados 407 registos (1,10% dos registos originais) que apresentaram valores de humidade do grão fora do intervalo [18,47 ; 25,85]. Este intervalo foi calculado com base nos seguintes valores: média: 22,16%; Desvio padrão: 1,23 %; Amplitude (3 x desv.pad.): 3,69 % (Fig. 21). Após este filtro sobraram 28459 registos;

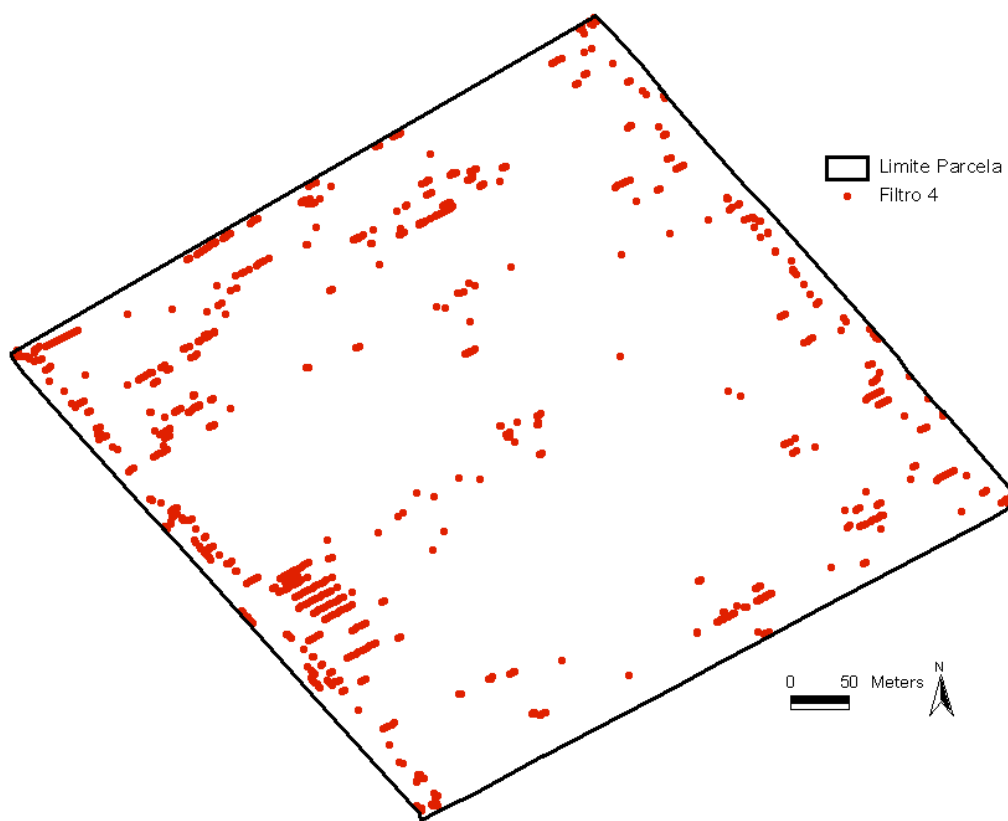


Figura 20 - Carta de registos removidos pelo filtro 4 para o ano de 2010.

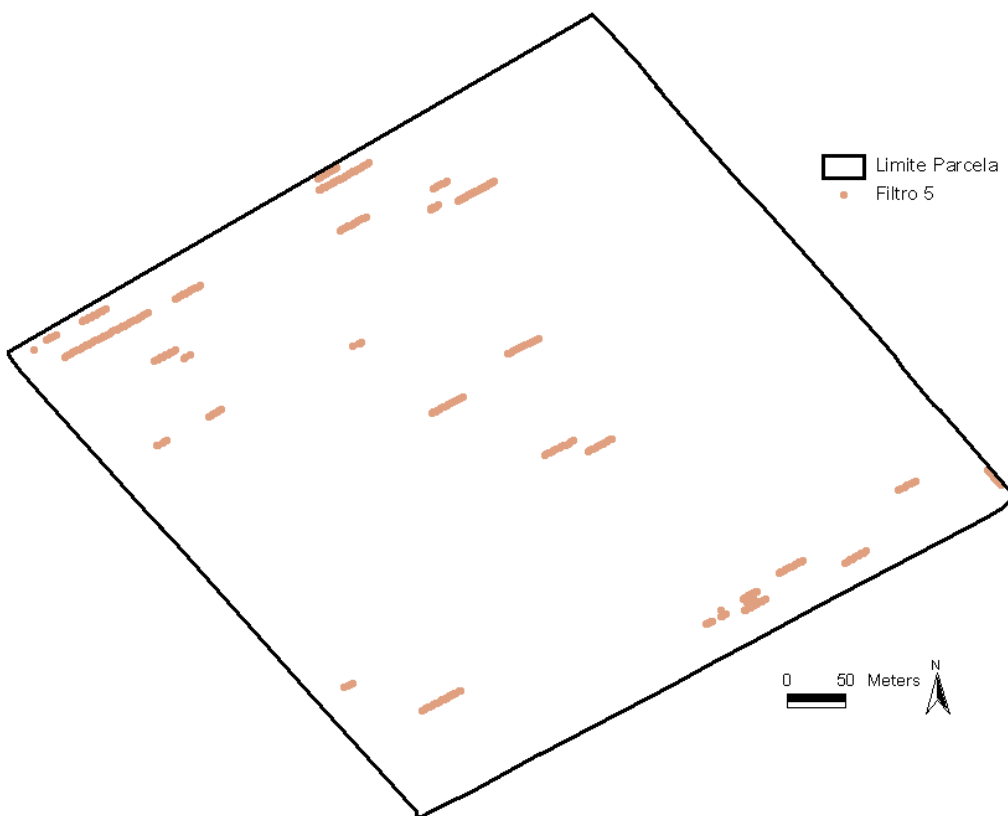


Figura 21 - Carta de registos removidos pelo filtro 5 para o ano de 2010.

- No filtro 6 (registos de produtividade fora dos limites biológicos) foram eliminados 65 registos correspondendo a 0,18% dos registos originais (Fig. 22). Após este filtro sobraram 28394 registos;

- No filtro 7 (registos resultantes da largura de trabalho ser inferior à largura de corte) foram removidos 381 registos, o equivalente a 1,04% dos registos iniciais. Após este filtro sobraram 28013 registos;

Após a aplicação dos 7 filtros resultaram 28013 registos ou seja foram removidos um total de 8481 registos (23,24% dos registos originais). O filtro que mais registos eliminou foi destacadamente o filtro 2 com 16,30% dos registos originais. Todos os restantes filtros eliminaram sempre individualmente menos que 3% dos registos originais. Por ordem decrescente as percentagens de registos eliminados foram: filtro 2 (16,30%); filtro 4 (2,60%); filtro 3 (1,47%); filtro 5 (1,10%); filtro 7 (1,04%); filtro 1 (0,46%); filtro 6 (0,18%).

A carta dos dados da produtividade após filtragem para o ano de 2010 encontra-se na Fig. 23.

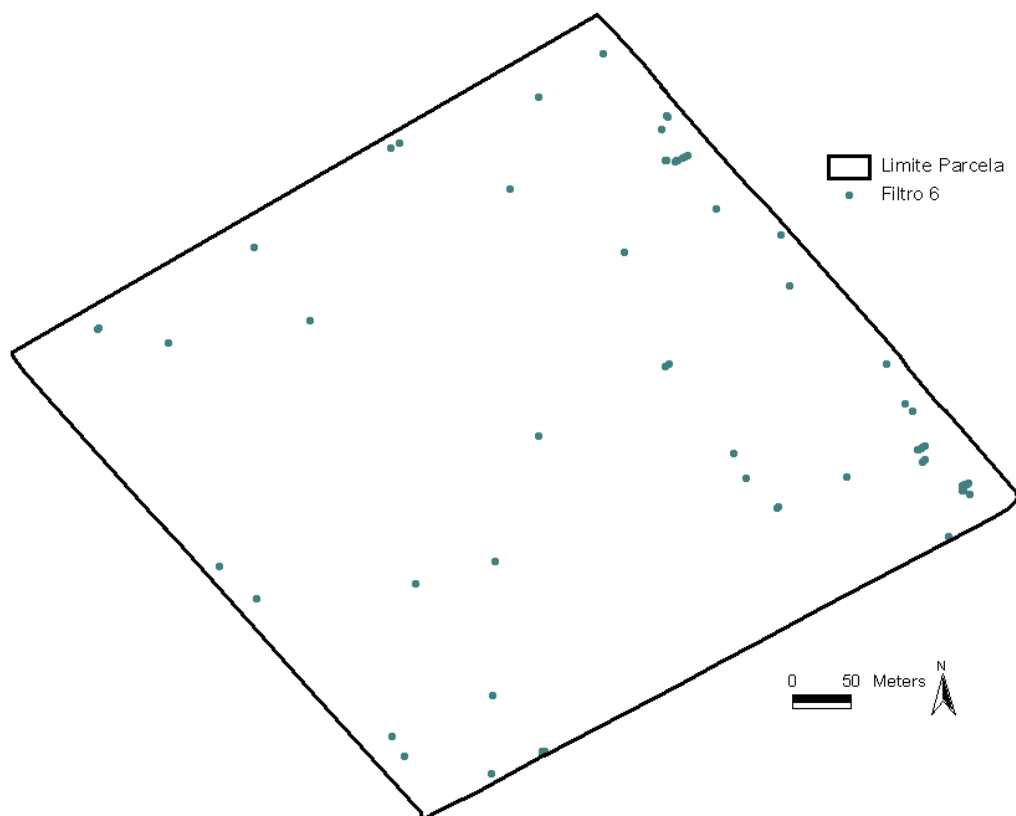


Figura 22 -Carta de registos removidos pelo filtro 6 para o ano de 2010.

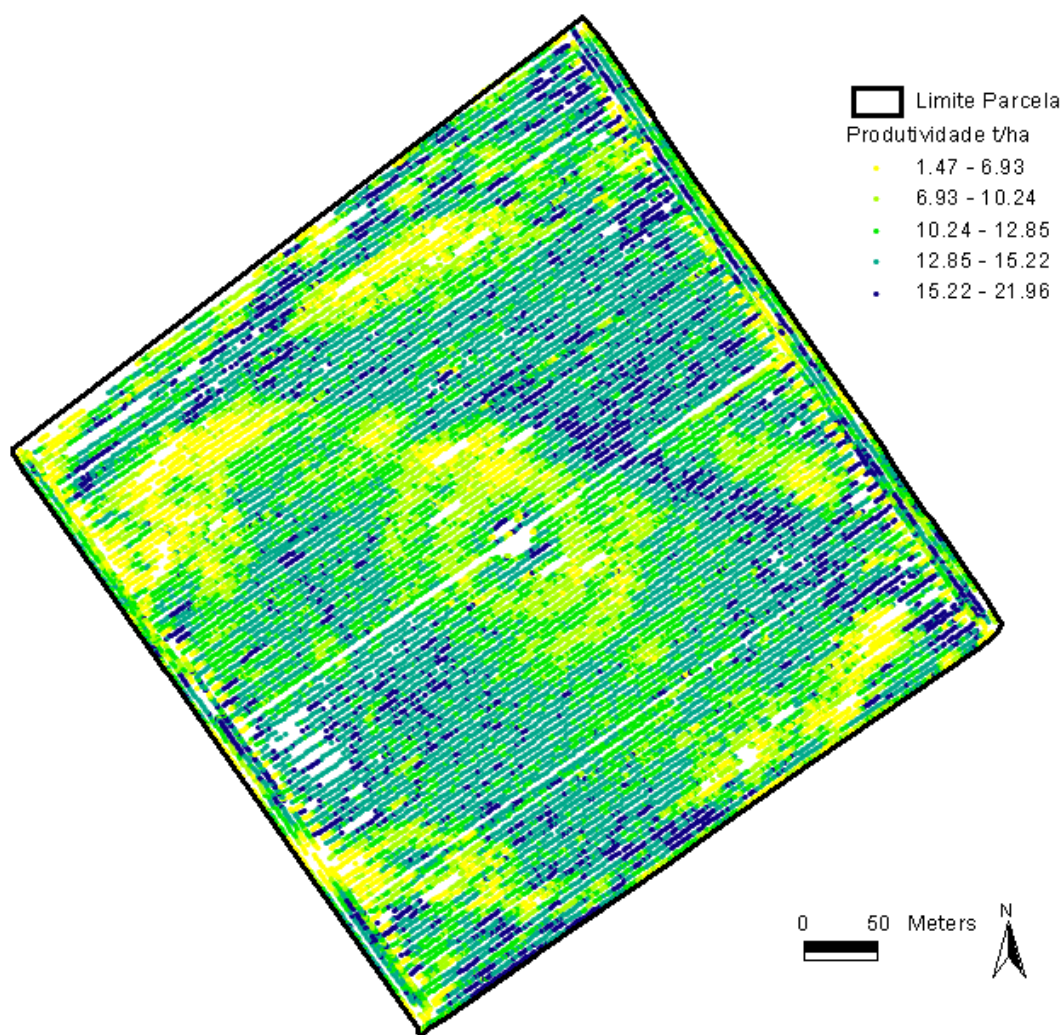


Figura 23 - Carta dos dados da produtividade após filtragem para o ano de 2010.

Deste modo em 2011:

- No filtro 1 (registos fora dos limites da parcela) foram eliminados 69 registos, isto é, 0,20% dos registos originais. Após a aplicação deste filtro sobraram 34055 registos;
- No filtro 2 (registos com valor de produtividade zero) foram eliminados 5712 registos correspondendo a 16,70% dos registos originais (Fig. 24). Tal como em 2010, estes registos encontram-se sobretudo agrupados nas cabeceiras. Após a aplicação deste filtro sobraram 28343 registos;
- No filtro 3 (registos com velocidade inferiores a 1,6 km/h e superiores a 10 km/h) foram removidos 154 registos (0,45% dos registos originais), de entre os quais 112 por terem valores de velocidade inferiores a 1,6 km/h e 42 por terem valores de velocidade superior a 10 km/h (Fig. 19). Após este filtro sobraram 28189 registos;

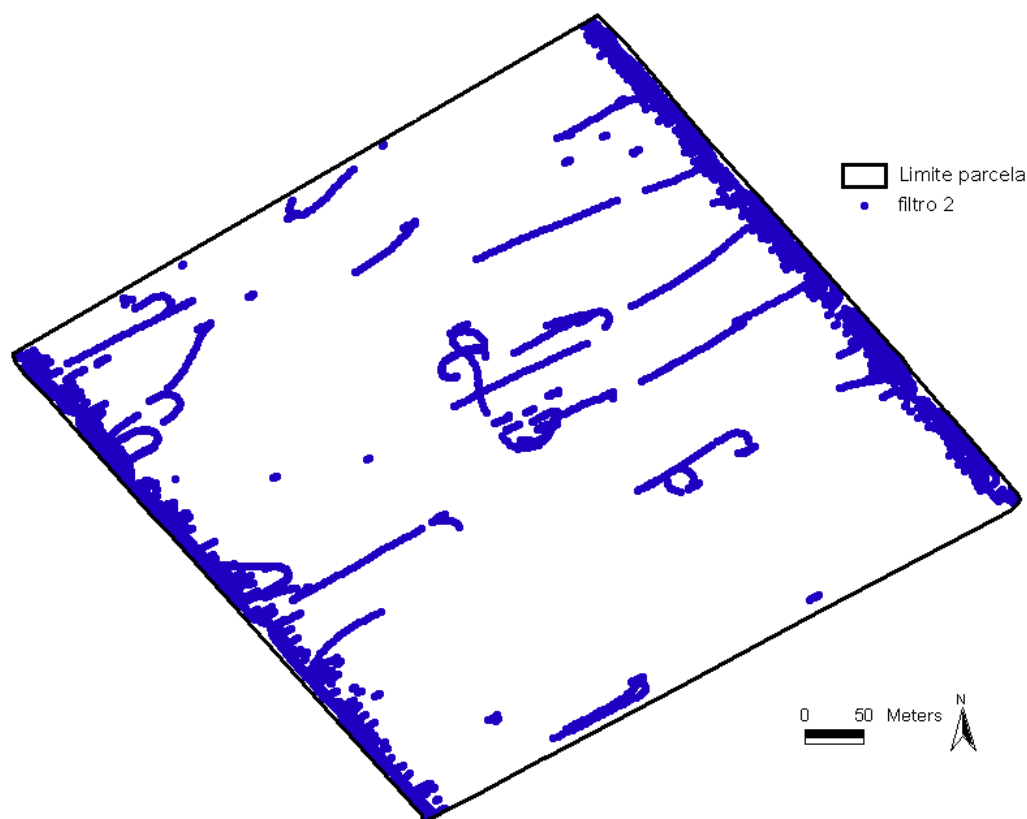


Figura 24 - Carta de registros removidos pelo filtro 2 para o ano de 2011.

- No filtro 4 (registos com fluxo de grão acima de 19 kg/s e abaixo de 1,7 kg/s) foram eliminados 473 pontos correspondendo a 1,39% dos registos originais (Fig. 25). Destes, 413 foram eliminados por terem valores de fluxo de grão inferior a 1,7 kg/s e 60 por serem superiores a 19 kg/s. Após este filtro sobraram 27716 registos;
- Na filtro 5 (registos outliers para a humidade) foram eliminados 53 registos (0,15% dos registos originais) que apresentaram valores de humidade do grão fora do intervalo [15,93 ; 22,29]. Este intervalo foi calculado com base nos seguintes valores: média: 19,11%; Desvio padrão: 1,06 %; Amplitude (3 x desv.pad.): 3,18 %. Após este filtro sobraram 27663 registos;
- No filtro 6 (registos de produtividade fora dos limites biológicos) foram eliminados 114 registos correspondendo a 0,33% dos registos originais (Fig. 26). Após este filtro sobraram 27549 registos;
- No filtro 7 (registos resultantes da largura de trabalho ser inferior à largura de corte) foram removidos 974 registos, o equivalente a 2,85% dos registos iniciais. Após este filtro sobraram 26575 registos;

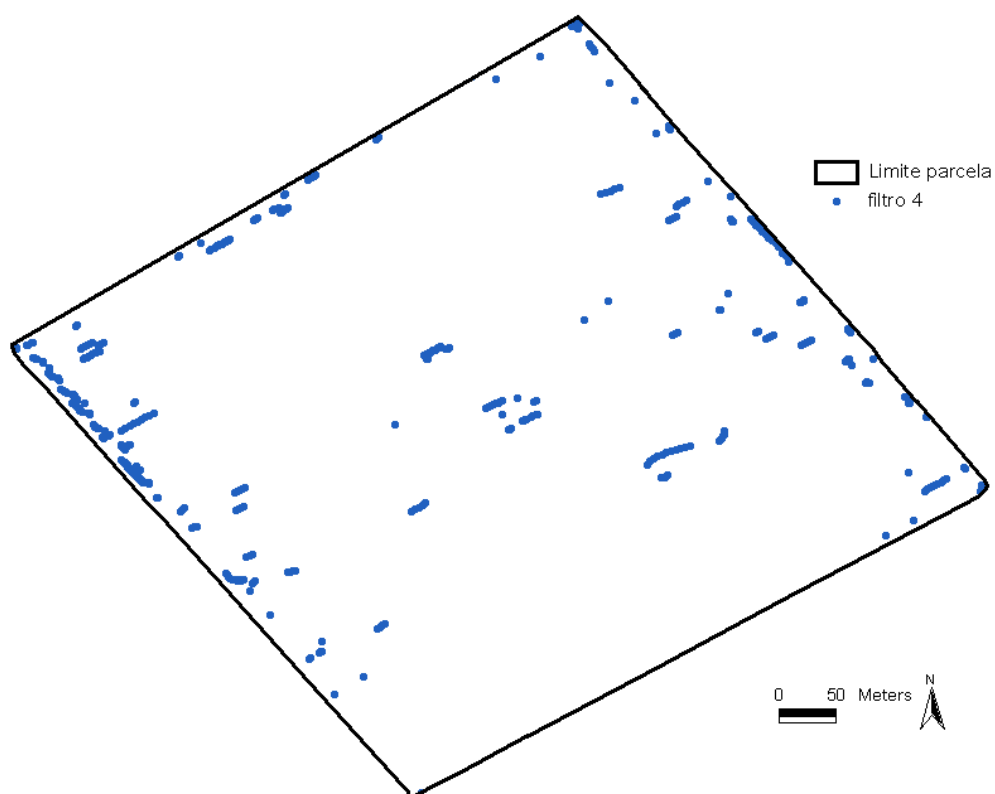


Figura 25 - Carta de registos removidos pelo filtro 4 para o ano de 2011.

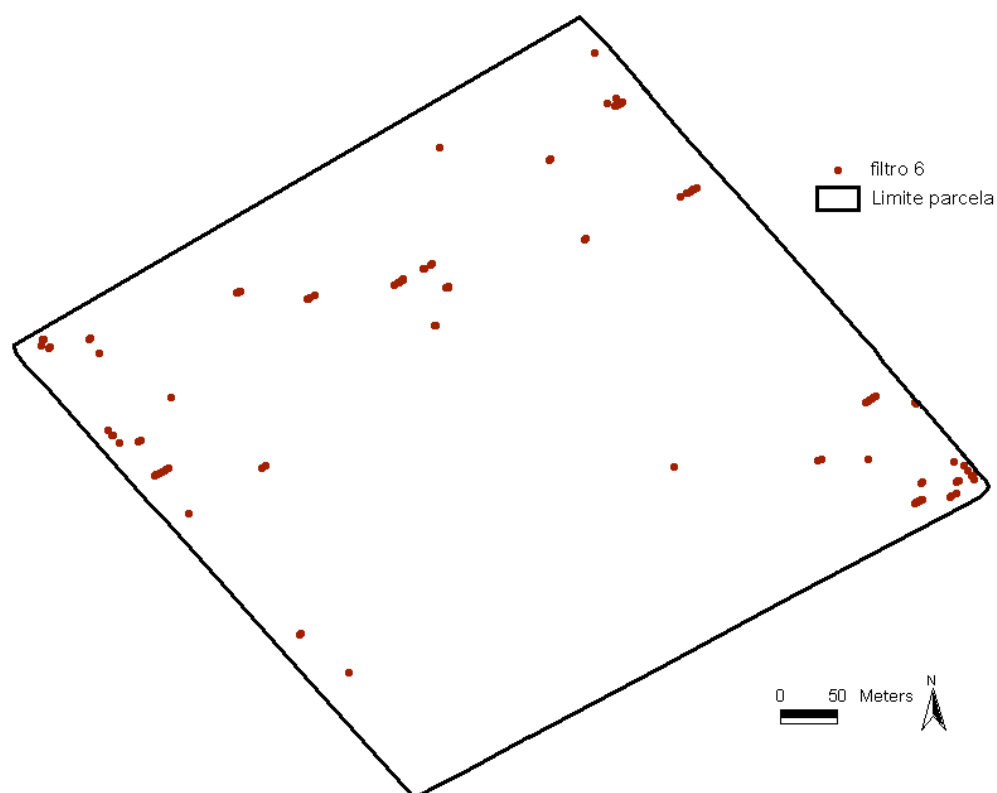


Figura 26 - Carta de registos removidos pelo filtro 6 para o ano de 2011.

Após a aplicação dos 7 filtros resultaram 26575 registos ou seja foram removidos um total de 7549 registos (22,12% dos registos originais). O filtro que mais registos eliminou foi destacadamente, e tal como em 2010, o filtro 2 com 16,70% dos registos originais. Todos os restantes filtros eliminaram sempre individualmente menos que 3% dos registos originais. Por ordem decrescente as percentagens de registos eliminados foram: filtro 2 (16,70%); filtro 7 (2,85%); filtro 4 (1,39%); filtro 3 (0,45%); filtro 6 (0,33%), filtro 1 (0,20%), filtro 5 (0,15%).

A carta dos dados da produtividade após filtragem para o ano de 2011 encontra-se na Fig. 27.

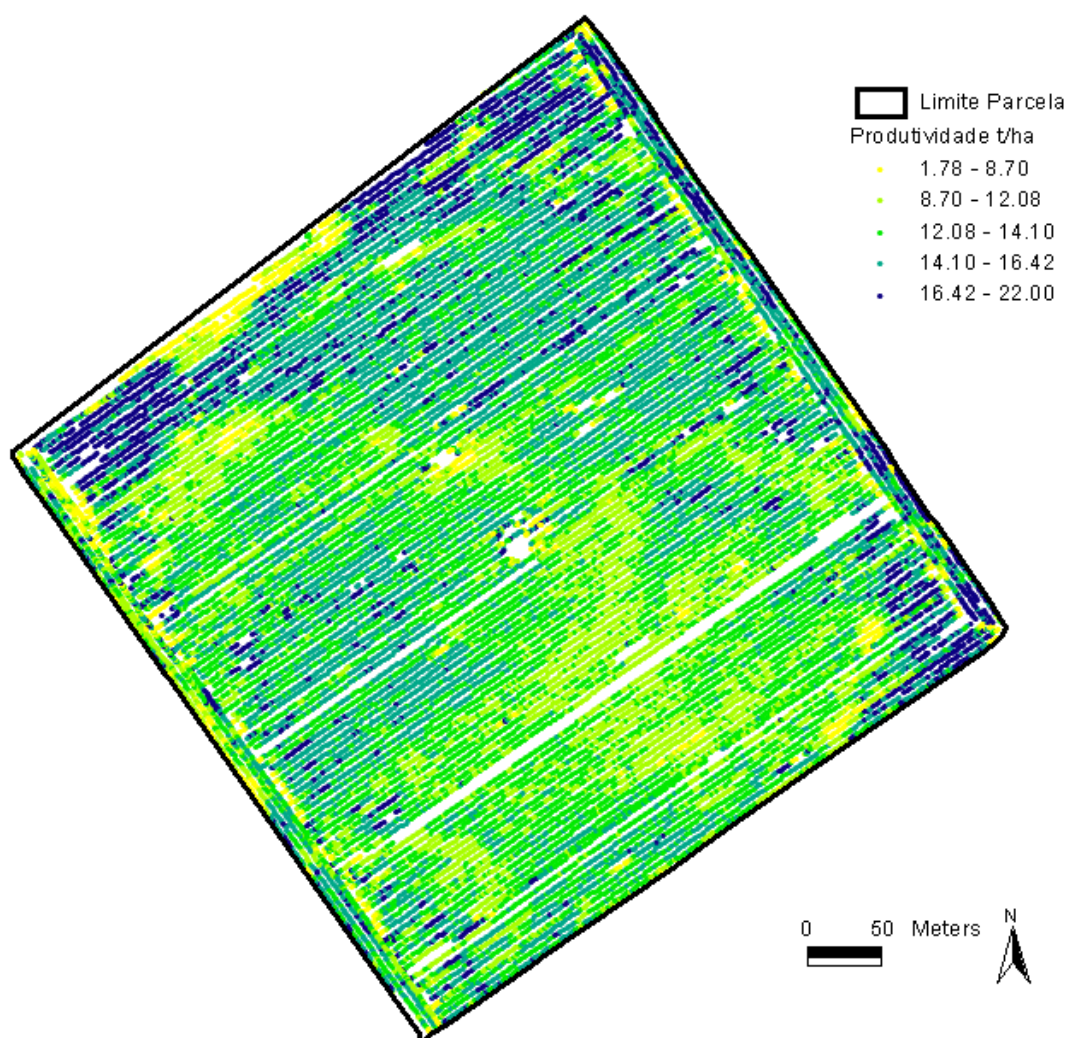


Figura 27 - Carta dos dados da produtividade após filtragem para o ano de 2011.

A correcção dos dados introduziu melhorias visíveis nas cartas dos dados da produtividade para os dois anos. De facto, os semivariogramas dos dados em bruto (Fig. 28 e 29) denunciam uma total ausência de dependência espacial dos dados. Tal situação já não se verifica para os dados filtrados (Fig. 30 e 31). A elevada variabilidade para curtas distâncias nos dados em bruto é consentânea com a natureza dos erros introduzidos pelo processo de colheita.

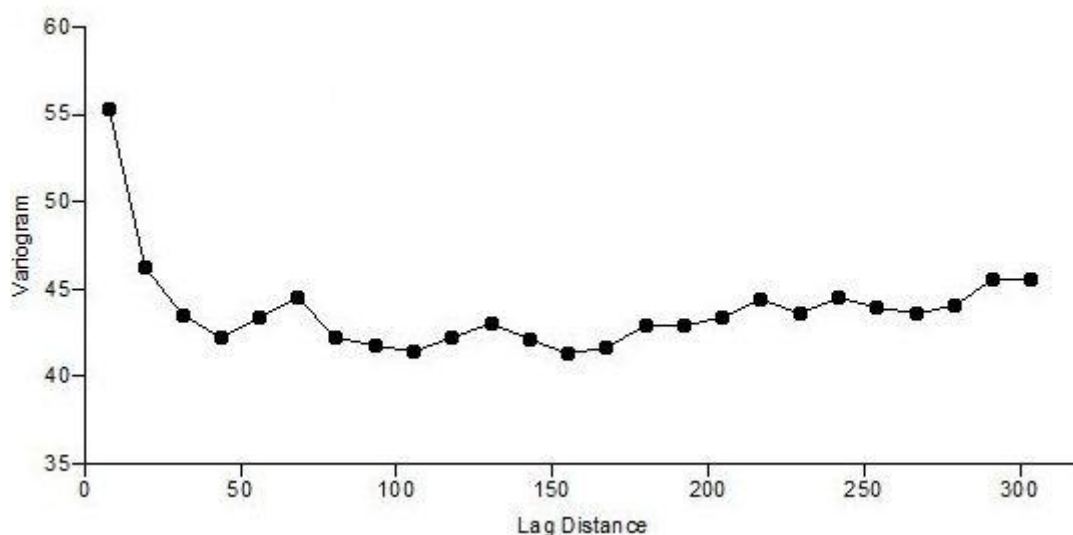


Figura 28 – Semivariograma dos registos em bruto da produtividade para o ano de 2010. Lag Distance em metros; Variograma em $(t/ha)^2$; Variância da amostra = $49,13 (t/ha)^2$

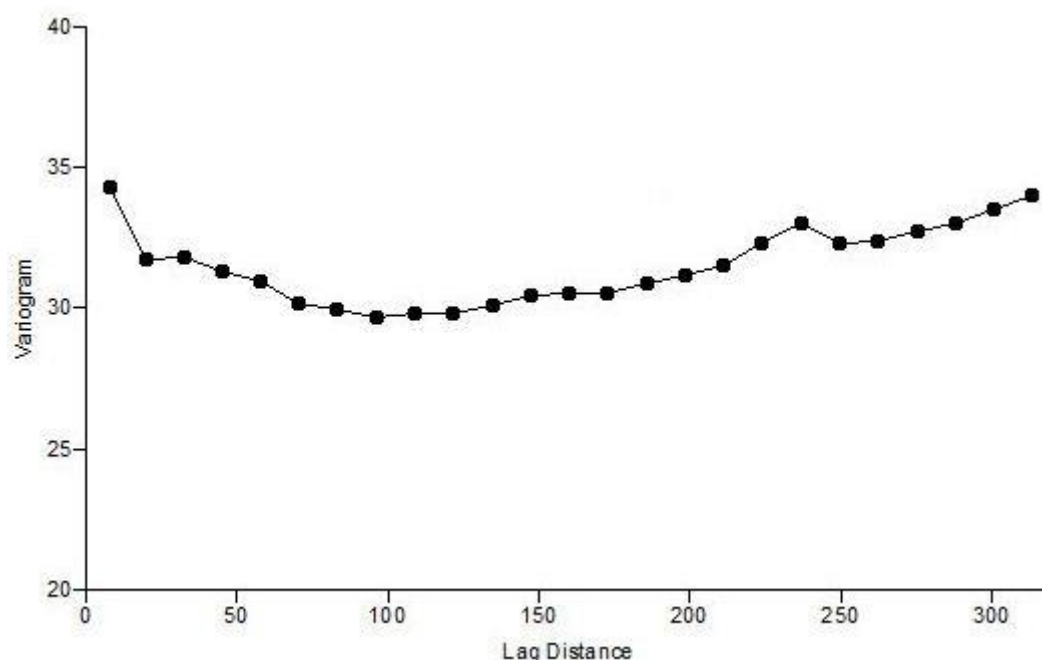


Figura 29 - Semivariograma dos registos em bruto da produtividade para o ano de 2011. Lag Distance em metros; Variograma em $(t/ha)^2$; Variância da amostra = $35,87 (t/ha)^2$

5.2 Obtenção da carta de produtividade

As Fig. 30 e 31 contêm os semivariogramas dos dados da produtividade após filtragem. Em oposição aos dados em bruto, os dados filtrados apresentam uma dependência espacial de alguma magnitude, particularmente para o ano de 2010.

Em ambos os anos foi ajustado um modelo de semivariograma exponencial que evidenciou um nugget de $3,8 \text{ (t/ha)}^2$ idêntico. Em oposição, o alcance foi bastante superior em 2010, 30 m, do que em 2011, 15m. Também para o sill se verificou que em 2010 se atingiu o dobro ($10,2 \text{ (t/ha)}^2$) do valor de 2011 ($5,3 \text{ (t/ha)}^2$). Deste modo, 2010 apresentou uma variabilidade espacial mais elevada, apresentando-se esta mais estruturada e de maior alcance do que em 2011.

As cartas de produtividade resultantes da extrapolação espacial por krigagem encontram-se nas Fig. 32 e 33 para os anos de 2010 e 2011, respectivamente.

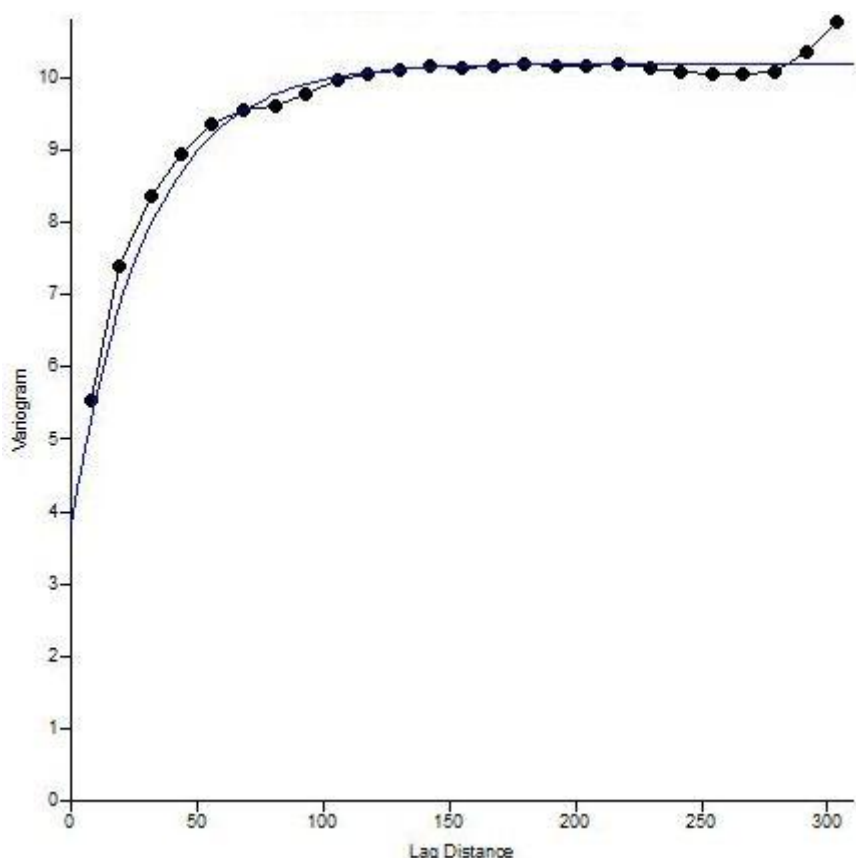


Figura 30 – Semivariograma dos registos da produtividade após filtragem para o ano de 2010. O modelo ajustado é do tipo exponencial.

Lag Distance em metros; Variograma em (t/ha)^2 ; Variância da amostra = $10,87 \text{ (t/ha)}^2$

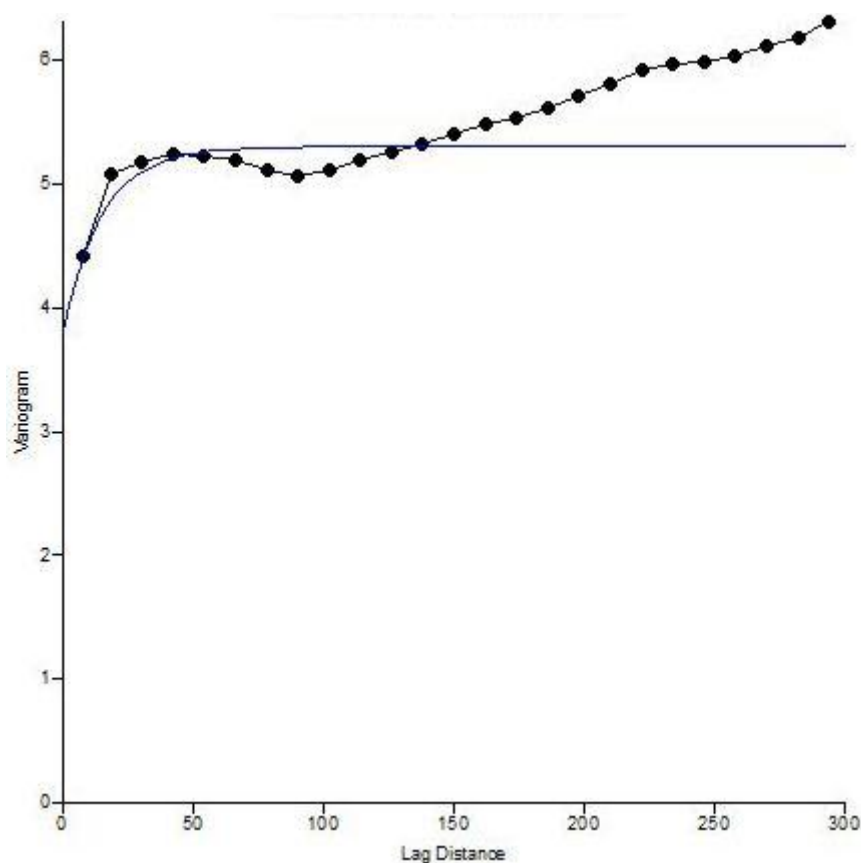


Figura 31 – Semivariograma dos registos da produtividade após filtragem para o ano de 2011. O modelo ajustado é do tipo exponencial.

Lag Distance em metros; Variograma em $(t/ha)^2$; Variância da amostra = $6,50 (t/ha)^2$

De facto, em 2010 a variabilidade espacial foi não só mais elevada como se encontram mais organizada espacialmente quando se compara com a carta de produtividade de 2011 (Fig. 33). Isso é notório pelas zonas bem definidas de produtividade nitidamente inferior à restante área da parcela.

5.3 Valorização da carta de produtividade

Estudaram-se formas de melhorar a percepção dos benefícios da agricultura de precisão através da valorização da carta de produtividade que se apresentam nos subcapítulos seguintes.

5.3.1 Estatística descritiva da variabilidade

Os dados recolhidos pelo monitor de produtividade foram sujeitos a uma análise estatística descritiva onde se compararam os dados antes e depois da aplicação dos filtros. O Quadro 5 apresenta os valores pré-processados de produtividade para os 2 anos de estudo.

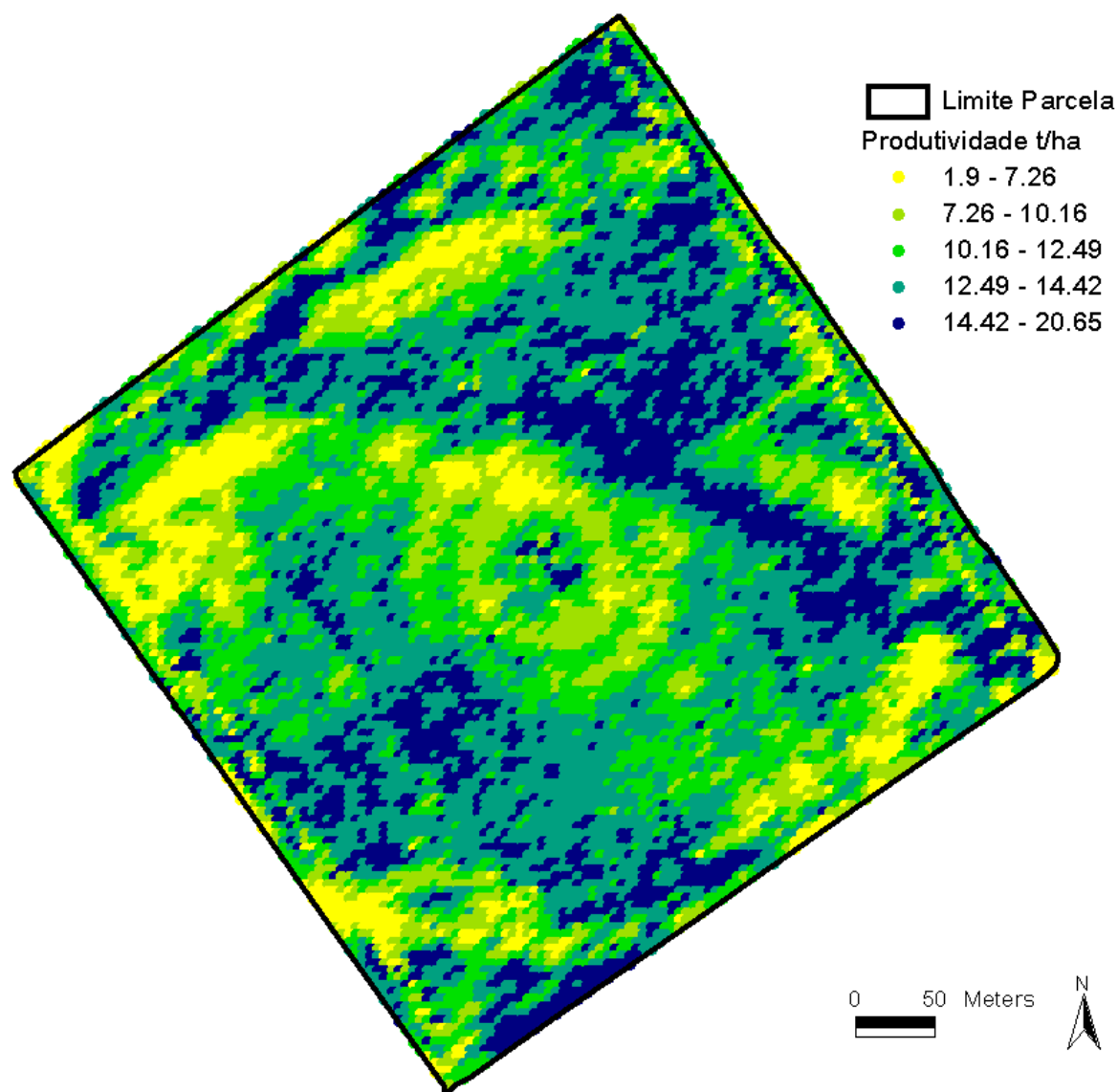


Figura 32 – Carta da produtividade para o ano de 2010.

Resolução espacial de 4,5 m. Classificação por “natural breaks”.

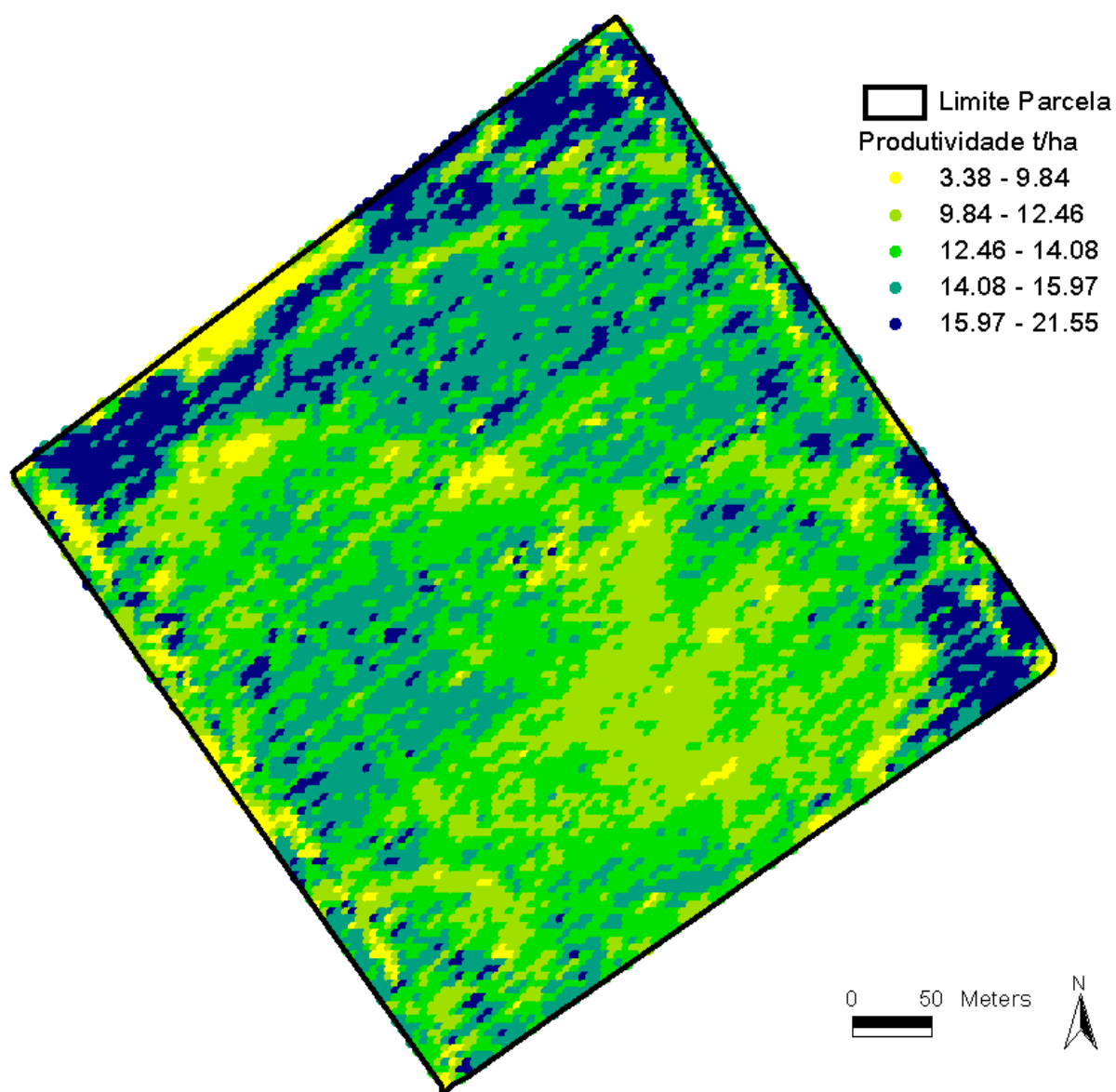


Figura 33 – Carta da produtividade para o ano de 2011.

Resolução espacial de 4,5 m. Classificação por “natural breaks”.

Como se pode observar, os dados antes de serem processados contêm valores anormais como é o caso dos valores máximos de humidade do grão em 2011 ou da produtividade em ambos os anos. Tal facto deve-se a que os dados ainda se encontram com um número significativo de erros.

O Quadro 6 apresenta os resultados da análise estatística descritiva após correcção dos dados.

Quadro 5 – Análise estatística descritiva dos dados não corrigidos para os anos de 2010 e 2011.

	Produtividade (T/ha)		Humidade (%)		Área (m ²)		Velocidade T (km/h)	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Média	9,94	11,05	18,87	36,67	7,29	8,36	5,83	6,69
Maximo	114,03	108,34	30,00	70,00	21,09	32,47	16,87	25,98
Minimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04
1 quartil	6,07	9,66	20,79	0,00	6,00	7,51	4,80	6,01
Mediana	11,62	12,97	22,08	70,00	7,67	8,89	6,14	7,11
3 quartil	13,88	14,63	22,69	70,00	9,30	9,41	7,44	7,53
Dev pad	7,01	5,99	7,94	34,96	2,79	2,57	2,23	2,06
Var	49,13	35,87	63,06	1222,24	7,80	6,62	4,99	4,23
CV	0,71	0,54	0,42	0,95	0,38	0,31	0,38	0,31

Quadro 6 - Análise estatística descritiva dos dados corrigidos para os anos de 2010 e 2011..

	Produtividade (T/ha)		Humidade (%)		Área (m ²)		Velocidade T (km/h)	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Média	11,93	13,57	22,17	19,10	7,96	8,42	6,37	6,74
Maximo	21,96	22,00	25,85	25,60	12,84	12,35	10,28	9,88
Minimo	1,47	1,78	18,50	15,93	2,00	2,02	1,60	1,62
1 quartil	10,04	12,30	21,74	18,46	6,65	8,08	5,32	6,46
Mediana	12,67	13,63	22,27	19,22	8,21	8,90	6,57	7,12
3 quartil	14,20	15,04	22,80	19,78	9,42	9,29	7,54	7,44
Dev pad	3,30	2,55	1,09	1,06	1,84	1,40	1,47	1,12
Var	10,87	6,50	1,19	1,12	3,39	1,97	2,17	1,26
CV	0,28	0,19	0,05	0,06	0,23	0,17	0,23	0,17

Ao analisarmos os dados antes e depois de processados, conseguimos tirar conclusões acerca da variabilidade das variáveis no próprio ano (através dos dados pré e pós-processados) e também entre os anos.

No caso da variável “Produtividade”, constatou-se que a média, em ambos os anos teve um aumento após o processamento, sendo que para o ano de 2010 aumentou 20,02% e em 2011 de 22,8%. Os valores irreais tanto de máximo como de mínimo também foram ajustados. Esses ajustes fizeram também com que os valores de desvio padrão, variância e coeficiente de variância se alterassem para valores mais baixos, diminuindo em 2010 52,92%, 77,88% e 60,56% e em 2011 57,43%, 81,88% e 64,81% respectivamente.

Relativamente à humidade do grão, os valores de desvio padrão após correcção sofreram também diminuições na ordem dos 86,23% para o ano de 2010 e de 96,97% para o ano de 2011. Acompanhando essa tendência, a variância e o coeficiente de variância também

sofreram grandes diminuições. A variação da variância foi de -98,11% e -99,91% para 2010 e 2011 respectivamente, enquanto para o cv foi de -88,1% para 2010 e de -93,69% para 2011.

Nas restantes variáveis, “Área de amostragem” e “Velocidade de Trabalho”, por serem variáveis relativamente fixas, embora tenham havido alterações dos valores com o processamento, esta foram menos acentuadas.

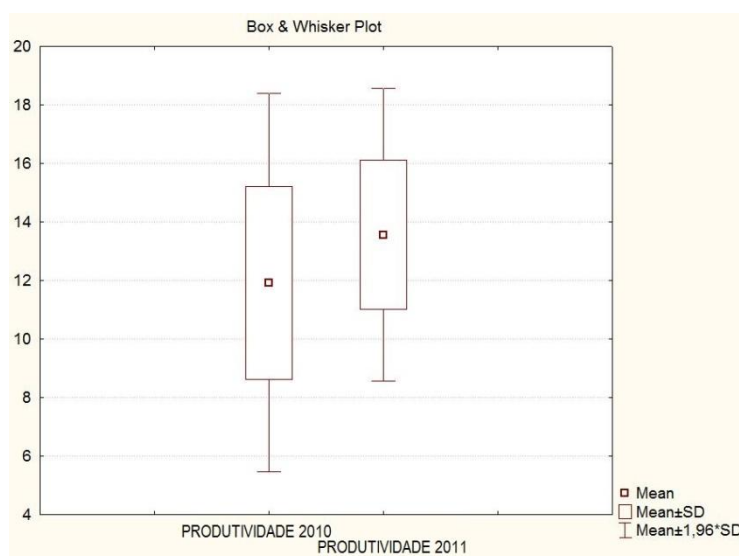


Figura 34 - Caixa de bigodes para a produtividade para os anos de 2010 e 2011.

Através da análise das caixas de bigodes para a produtividade de ambos os anos (Fig. 34), pode-se observar que 2011 foi mais produtivo na sua totalidade, sendo que a variabilidade é menor em relação a 2010, não havendo no entanto diferenças significativas.

Ao contrário da produtividade, o teor de humidade dos grãos foi em média para a parcela menor em 2011 quando comparado com 2010 (Fig. 35).

Uma evidência que se destaca na análise dos dados é que a variância e o coeficiente de variância após a correcção dos dados diminuiram, isto é, todo o processamento a que os dados brutos foram submetidos, resultaram numa diminuição da sua variabilidade. Este facto é observável através da análise comparativa dos histogramas pré o pós-processados (Fig. 36 e 37).

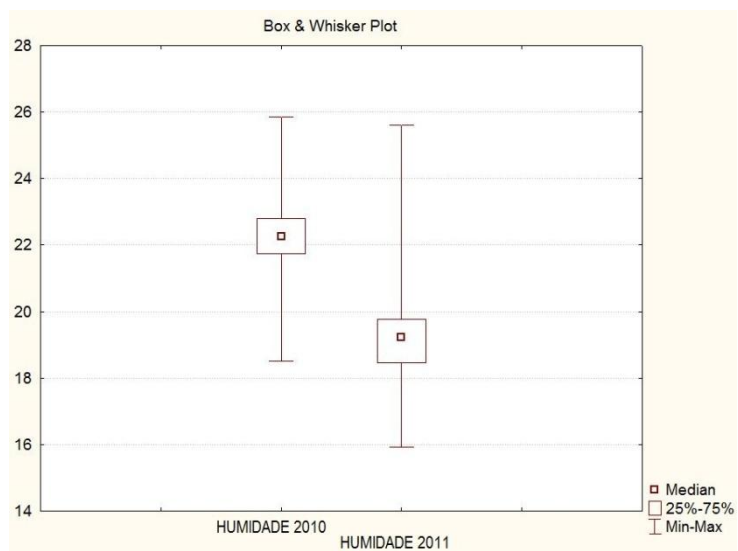


Figura 35 - Caixa de bigodes para a humidade dos grãos para os anos de 2010 e 2011.

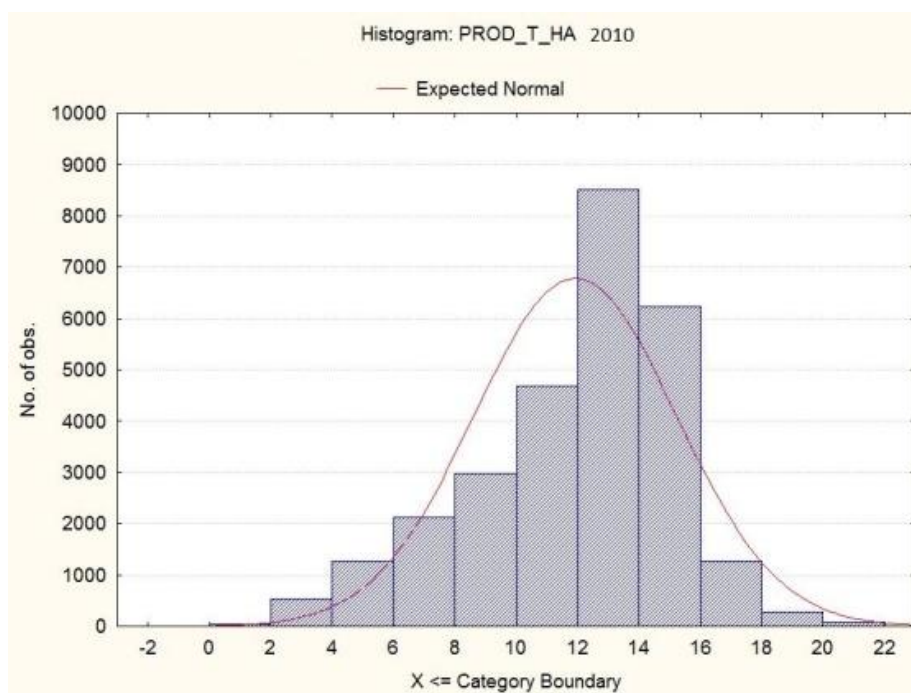


Figura 36 - Histograma da produtividade para 2010 após correcção.

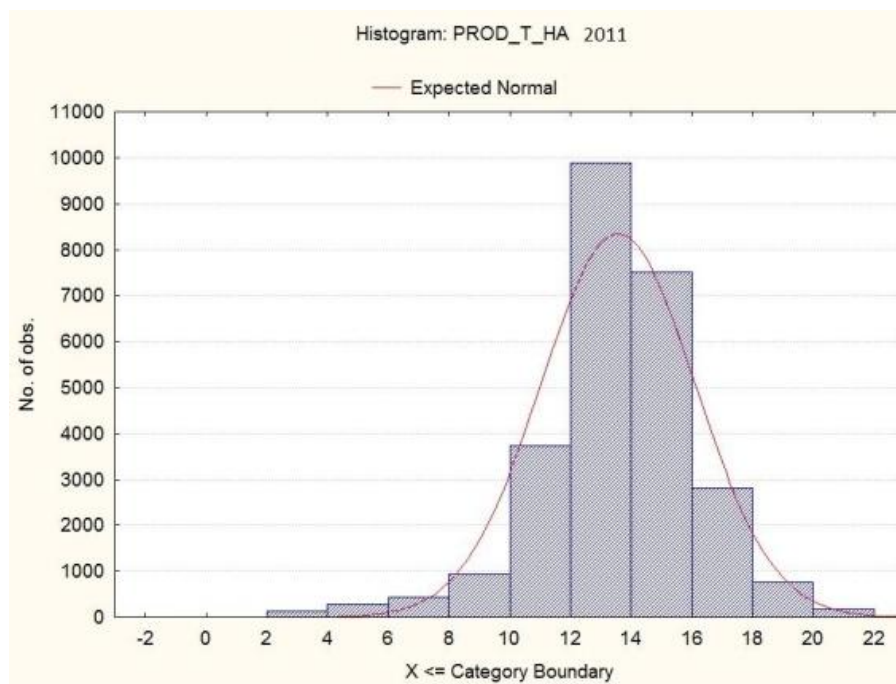


Figura 37 - Histograma da produtividade para 2011 após correção.

5.3.2 Grau de dependência espacial

Já foi referido que em 2010 se verificou uma maior dependência espacial da produtividade não só pelo maior alcance da dependência (30m em 2010 e 15m em 2011) como também pelo rácio entre a semivariância no ponto (nugget/pepita) e a semivariância total (sill/patamar): 37,2 % em 2010 e quase o dobro em 2011: 71,7%. Embora ambos os rácios se encontrem na classificação de dependência espacial moderada, é de realçar a diferença encontrada. Uma vez que o valor do nugget é praticamente o mesmo em ambos os anos ($3,8 \text{ (t/ha)}^2$), a diferença entre os anos ficou a dever-se ao distinto valor do patamar: quase o dobro em 2010 ($10,2 \text{ (t/ha)}^2$) quando comparado com 2011 ($5,3 \text{ (t/ha)}^2$). Tal como já se concluiu anteriormente, de facto, a variabilidade espacial da produtividade em 2010 é muito superior à de 2011.

5.3.3 Interpretação dos padrões de variabilidade

Em relação ao ano de 2011, procurou-se junto do gestor agrícola tentar perceber a ocorrência de determinadas zonas de produtividade notoriamente diferentes. Estas ocorrências são originárias de diversas fontes, sendo maioritariamente devidas a problemas no sistema de rega.

A baixa produtividade observada na zona da junção da rampa pivotante com as áreas onde se encontra instalado o sistema de cobertura total é o resultado de uma má continuidade de aplicação da rega. Tal facto é observável por um anel de baixa produtividade nas regiões de extremidade de alcance da rampa pivotante como se pode observar na Fig. 38.

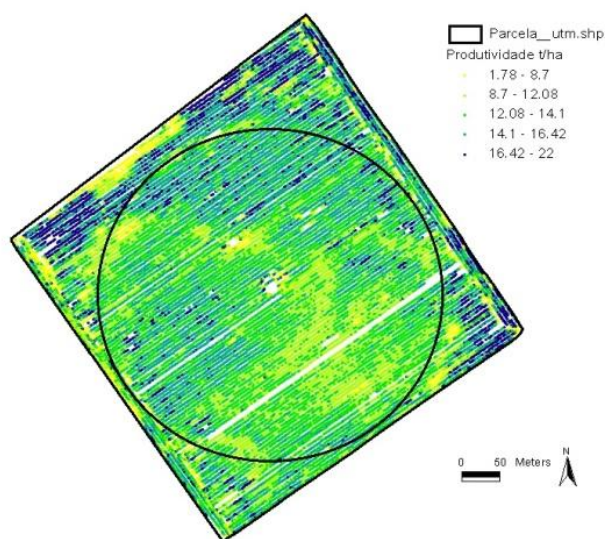


Figura 38 - Descontinuidade de rega entre a rampa pivotante e a cobertura total no ano de 2011.

Outra zona que se evidencia pela observação das cartas, quer de 2011 quer também de 2010, como sendo uma zona de elevada produtividade é uma zona de vale que atravessa a parcela a norte do centro do pivot (Fig. 39). Esta zona de cota um pouco menor (-1m), por ser uma área favorável a escoamentos de água e que por consequência tem maiores níveis de humidade do solo apresenta em ambos os anos uma maior produtividade. Esta observação levanta a questão de que na parcela a hipótese de a água poder estar a ser um factor limitante na produtividade de milho na parcela.

Pela análise do mapa de produtividade de 2011, pode-se ainda observar uma zona de baixa produtividade (Fig. 40) resultante da falha de um sector de aspersores durante um período de alguns dias na fase de enchimento do grão. Esta falha foi dramática no impacto que teve na produtividade da cultura.

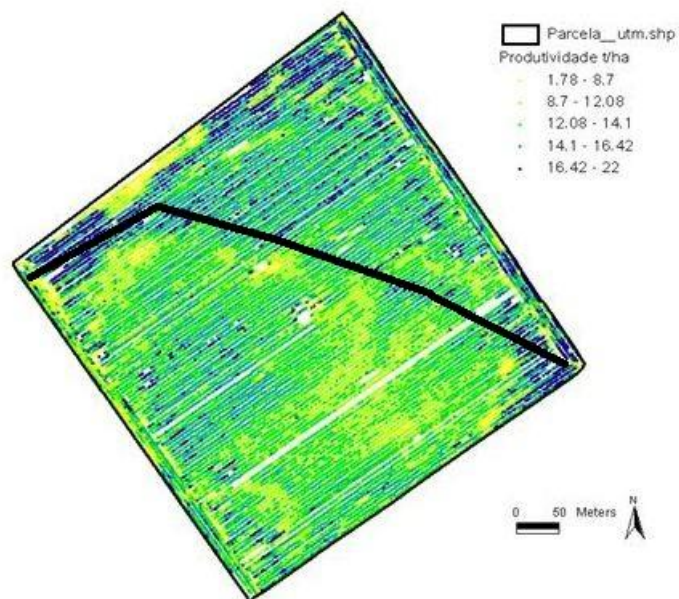


Figura 39 – Vale onde se verifica uma produtividade mais elevada.

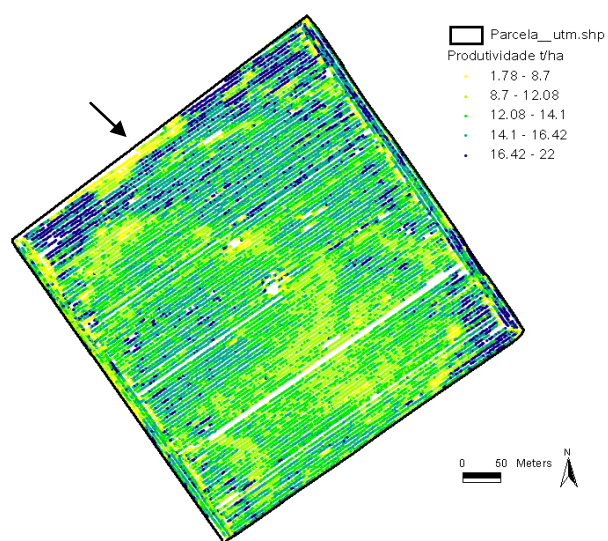


Figura 40 - Zona onde houve falha na rega no ano de 2011

Pode-se ainda notar, pela análise do mapa de produtividade de 2011, que sensivelmente o terço mais a sul da parcela foi no geral menos produtivo (Fig. 41). De facto, nessa secção foi realizado um ensaio de não aplicação de fósforo que se revelou eficaz a demonstrar o seu efeito nalguma quebra de produtividade.

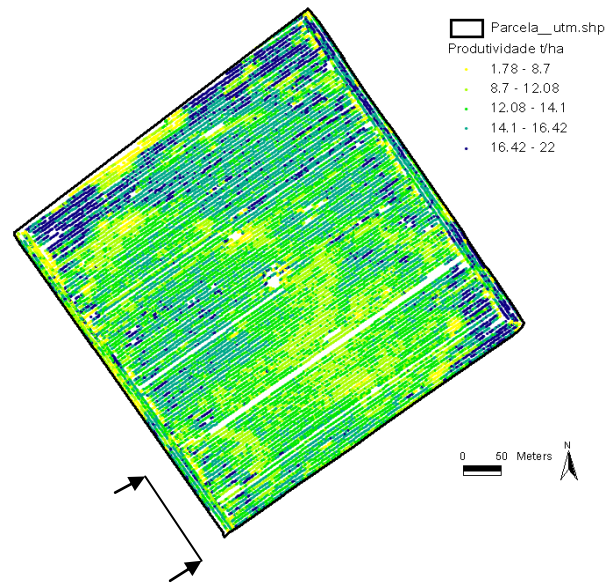


Figura 41 - Área sem aplicação de fósforo no ano de 2011.

Ao comparar os mapas de ambos os anos, é possível identificar 3 zonas de baixa produtividade indicadas na Fig. 42, que segundo o gestor agrícola são zonas de solo com maior teor em areia. Estas zonas produziram invariavelmente menos corroborando mais uma vez a hipótese de a água estar a ser factor limitante da produtividade. É de reparar que o nível de produtividade destas zonas é idêntico ao da zona que teve problemas na rega no ano de 2011 (Fig. 40).

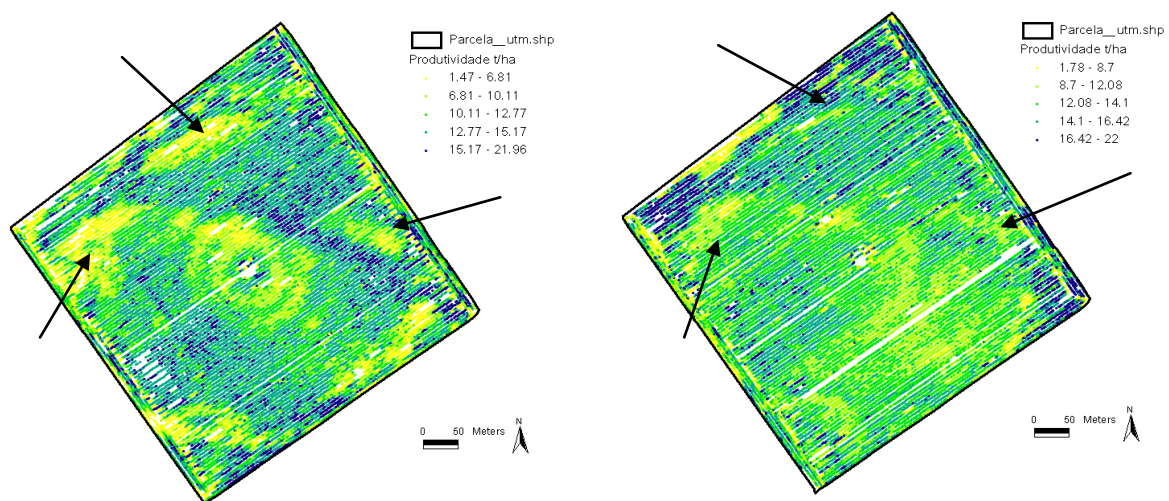


Figura 42.-Zonas com solo de textura mais arenosa.

5.3.4 Cartas de produtividade relativa

As Fig. 43 e 44 apresentam as cartas de produtividade para 2010 e 2011, respectivamente, mas com uma escala relativa i.e. é atribuído a produtividade zero às zonas menos produtivas e 100 às mais produtivas. No essencial, o que muda nestas cartas é a legenda, tornando-as bastante úteis para comprar parcelas ou anos idenpendentemente das culturas ou da média produtiva de cada ano para a mesma cultura.

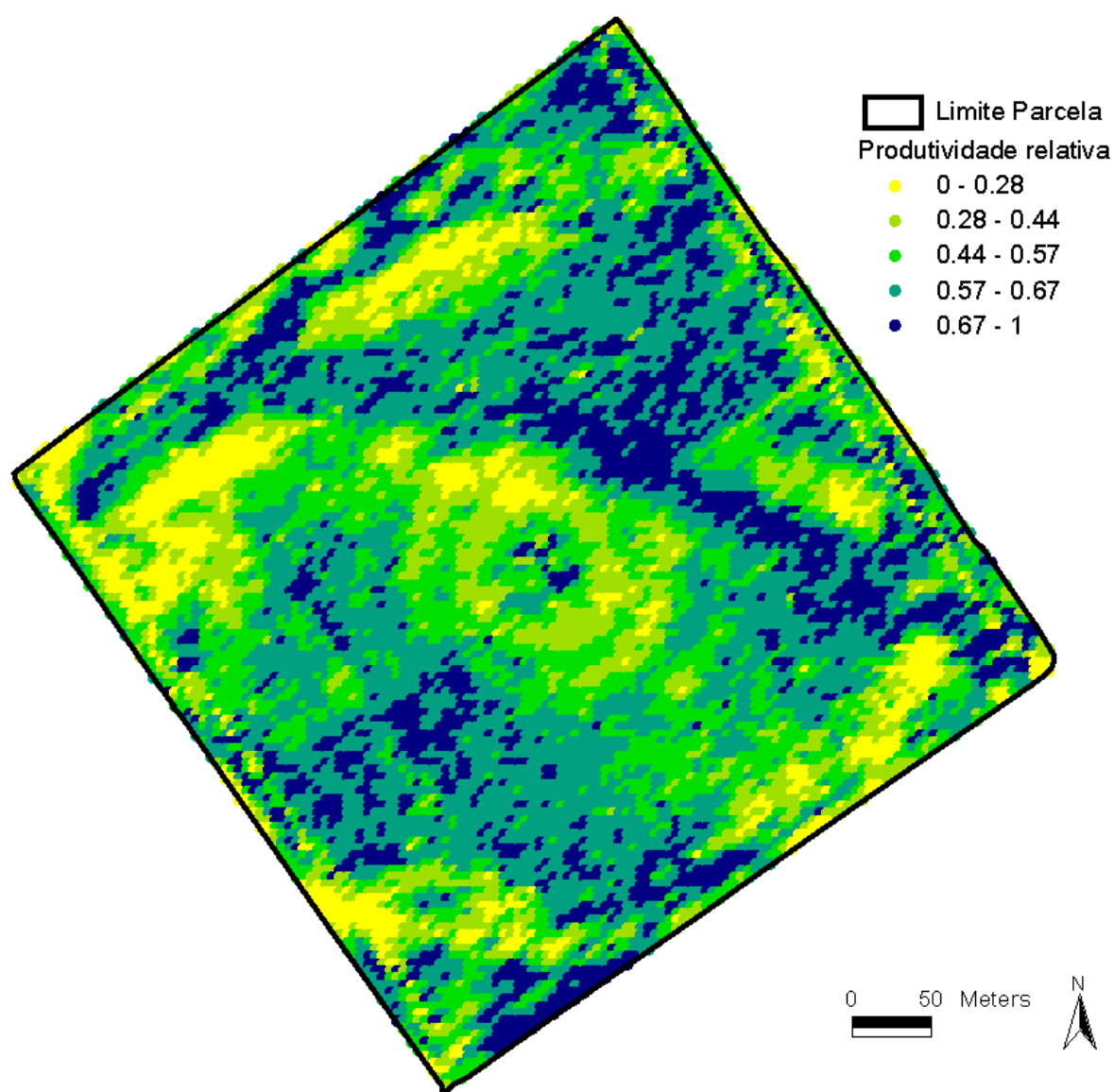


Figura 43 - Carta da produtividade relativa para o ano de 2010.
Resolução espacial de 4,5 m. Classificação por “natural breaks”.

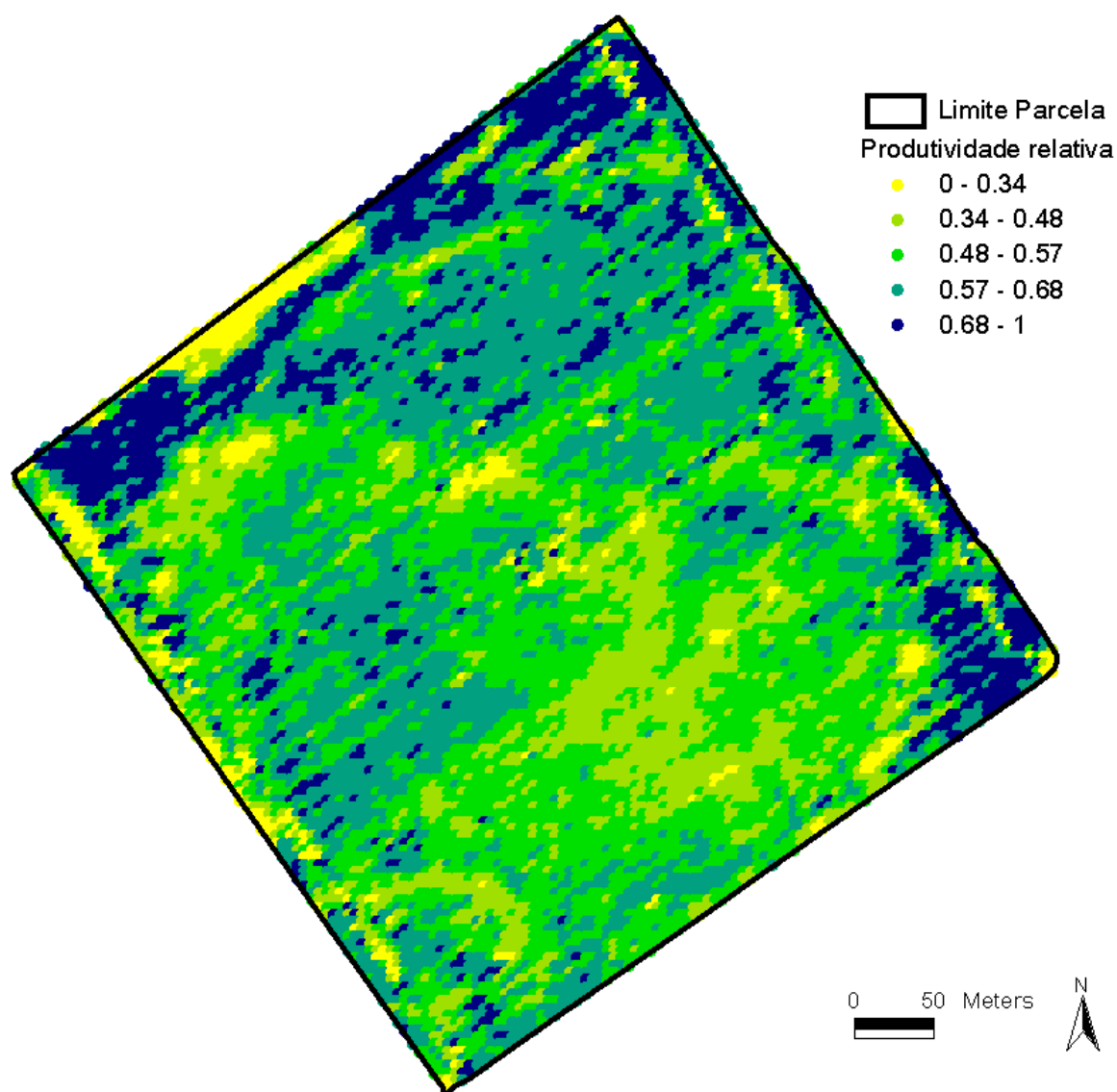


Figura 44 - Carta da produtividade relativa para o ano de 2011.

Resolução espacial de 4,5 m. Classificação por “natural breaks”.

5.3.5 Cartas de margem bruta

As Fig. 45 e 46 apresentam as cartas de margem bruta para 2010 e 2011, respectivamente, resultantes da aplicação da eq.13 às cartas de produtividade. Dado tratar-se de uma equação linear (margem bruta em função da produtividade), novamente apenas se verifica alteração da legenda já que a variação espacial se mantém exactamente igual. A vantagem deste tipo de cartas é que são extremamente eficazes a dar a entender ao gestor agrícola as zonas das parcelas em que se ganha mais e menos dinheiro e também as zonas em que se perde dinheiro i.e. em que a produção não chega a cobrir os custos.

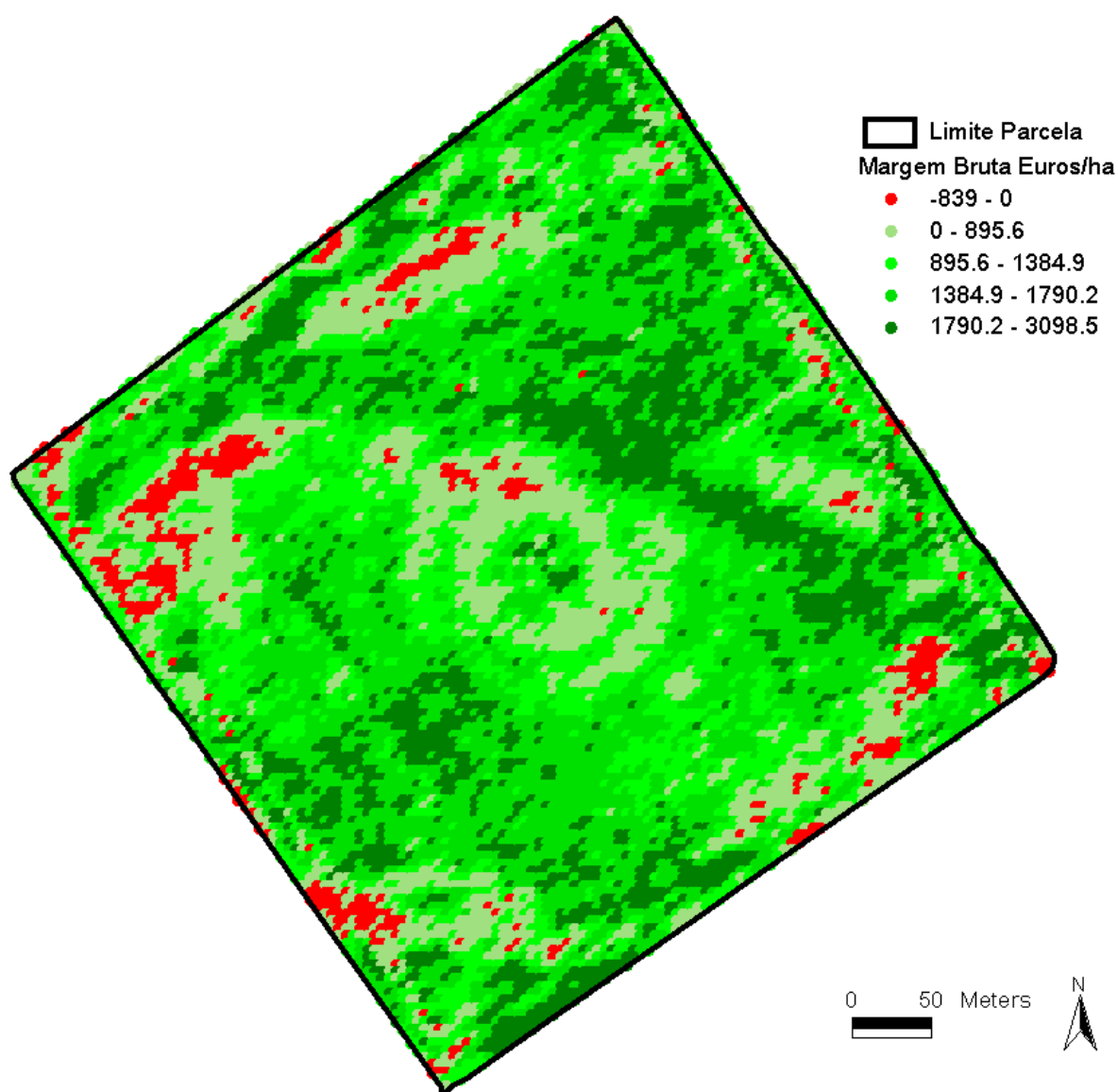


Figura 45 - Carta da margem bruta (€/ha) para o ano de 2010.

Resolução espacial de 4,5 m. Classificação por “natural breaks”.

Como seria de esperar, dado que 2010 foi um ano com menor produtividade média que 2011, a margem bruta foi maior em 2011 que em 2010. A percentagem de área com margem bruta negativa foi muito superior em 2010 (4,17% i.e. 0,96 ha) do que em 2011 (0,45% i.e. 0,1 ha). De facto, em 2011 praticamente só se perdeu dinheiro na zona em que se verificou um problema com os aspersores (Fig. 40). Já em 2010 praticamente todas as zonas mais arenosas (Fig. 42) resultaram numa margem bruta negativa.

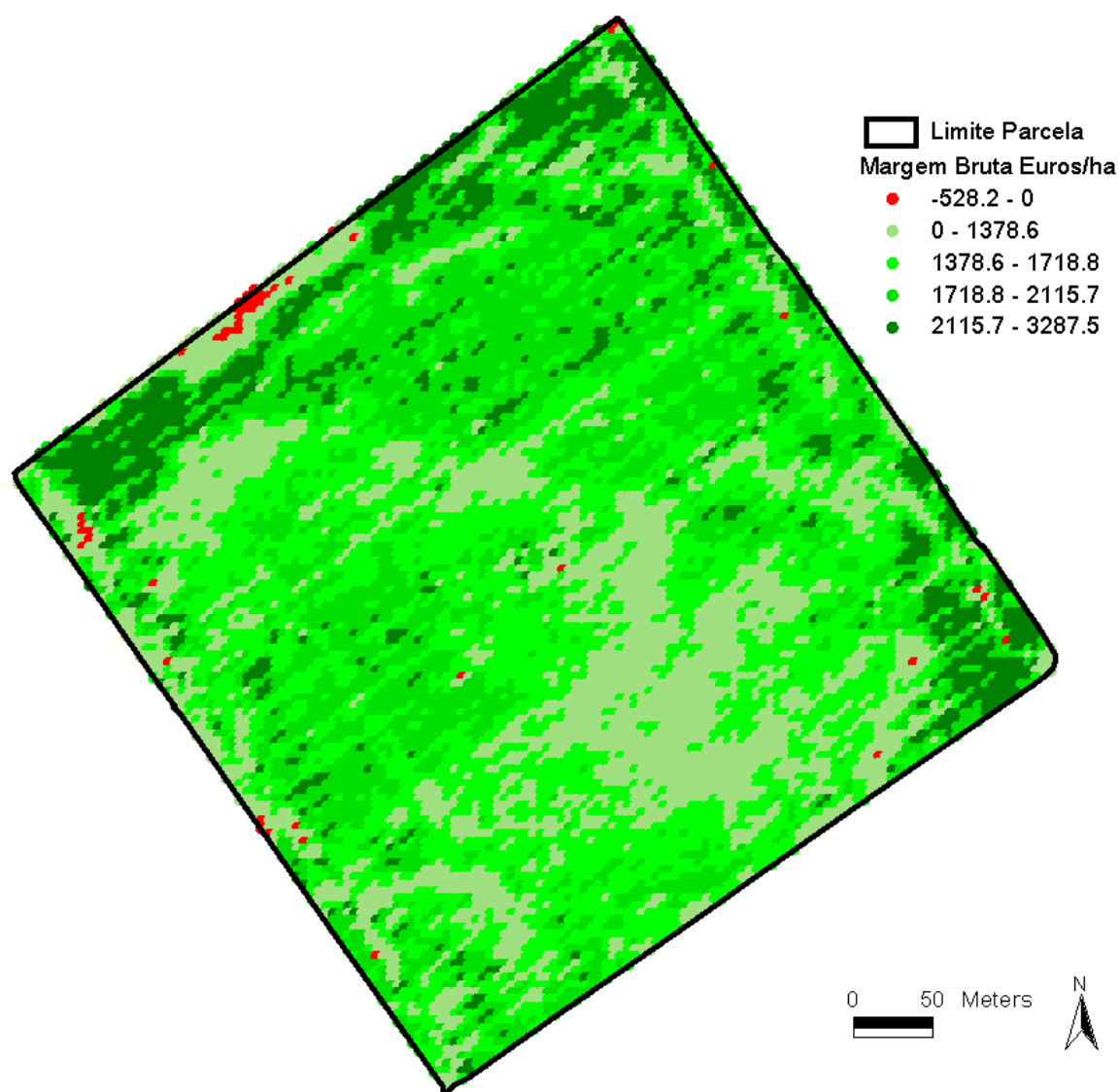


Figura 46 - Carta da margem bruta (€/ha) para o ano de 2011.

Resolução espacial de 4,5 m. Classificação por “natural breaks”.

5.3.6 Análise espácio-temporal

A Fig. 47 apresenta a carta da produtividade média para os anos de 2010 e 2011. A variabilidade espacial encontrada é totalmente explicada pela encontrada em cada uma das cartas individualmente (cf. Capítulo anteriores). A Fig. 48 apresenta a carta da variação absoluta da produtividade entre os anos de 2010 e 2011 dando uma ideia precisa das zonas da parcelas com maior variação nos dois anos. Ao contrário da carta da produtividade média, muita da variabilidade espacial é atenuada na carta da variação absoluta.

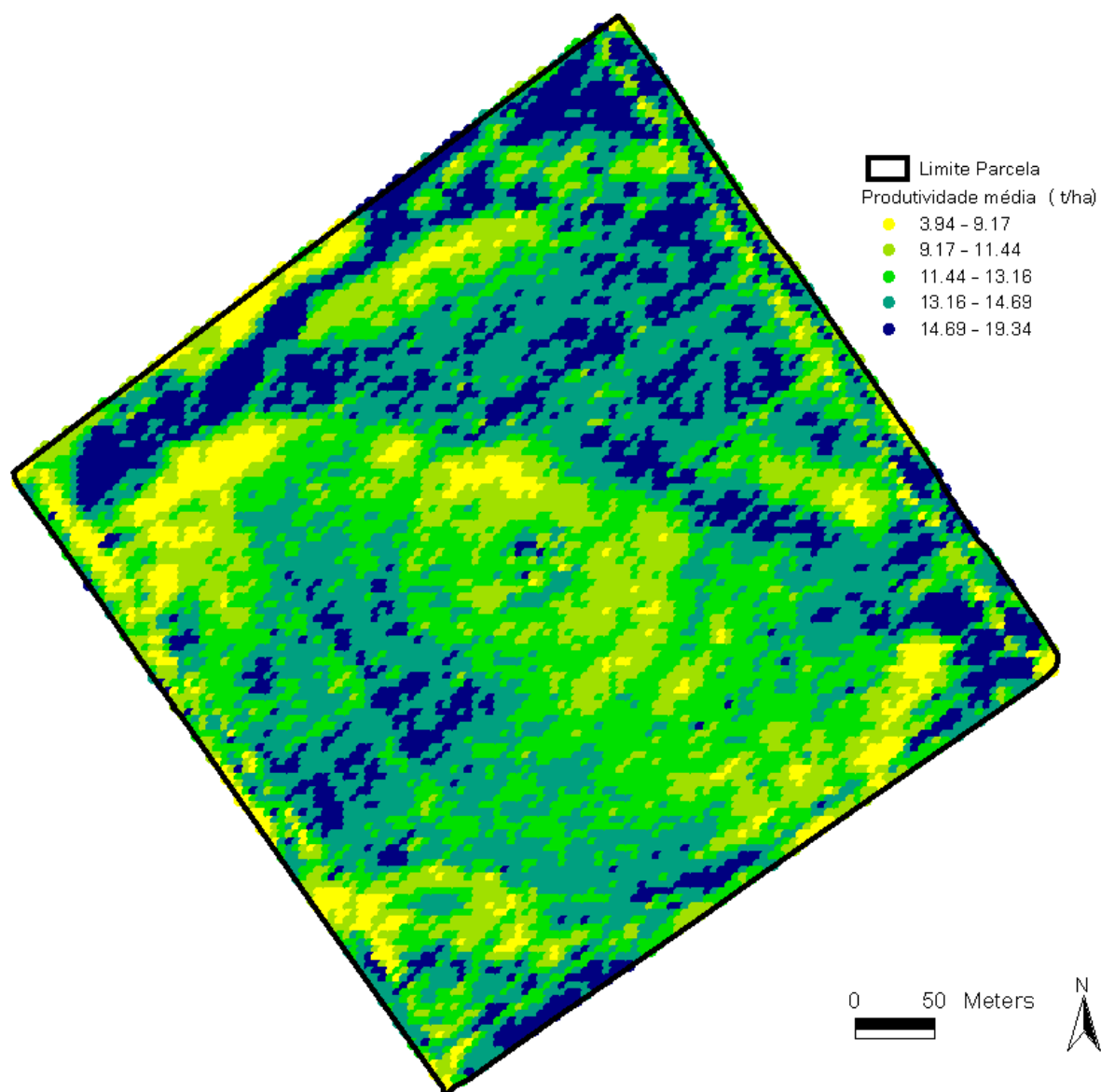


Figura 47 - Carta da produtividade média para os anos de 2010 e 2011.

Resolução espacial de 4,5 m. Classificação por “natural breaks”.

Os valores médios das cartas das Fig. 47 e 48 são, respectivamente, 12,83 t/ha e 2,37 t/ha. Estas médias foram utilizadas na classificação patente na Fig. 49 em que surgem:

- Zonas instáveis – zonas de rega fixa e zonas de solos arenosos – 37,4% da área;
- Zonas de produtividade baixa estáveis – 19,1 % da área
- Zonas de produtividade elevada estáveis - 43,5 % da área

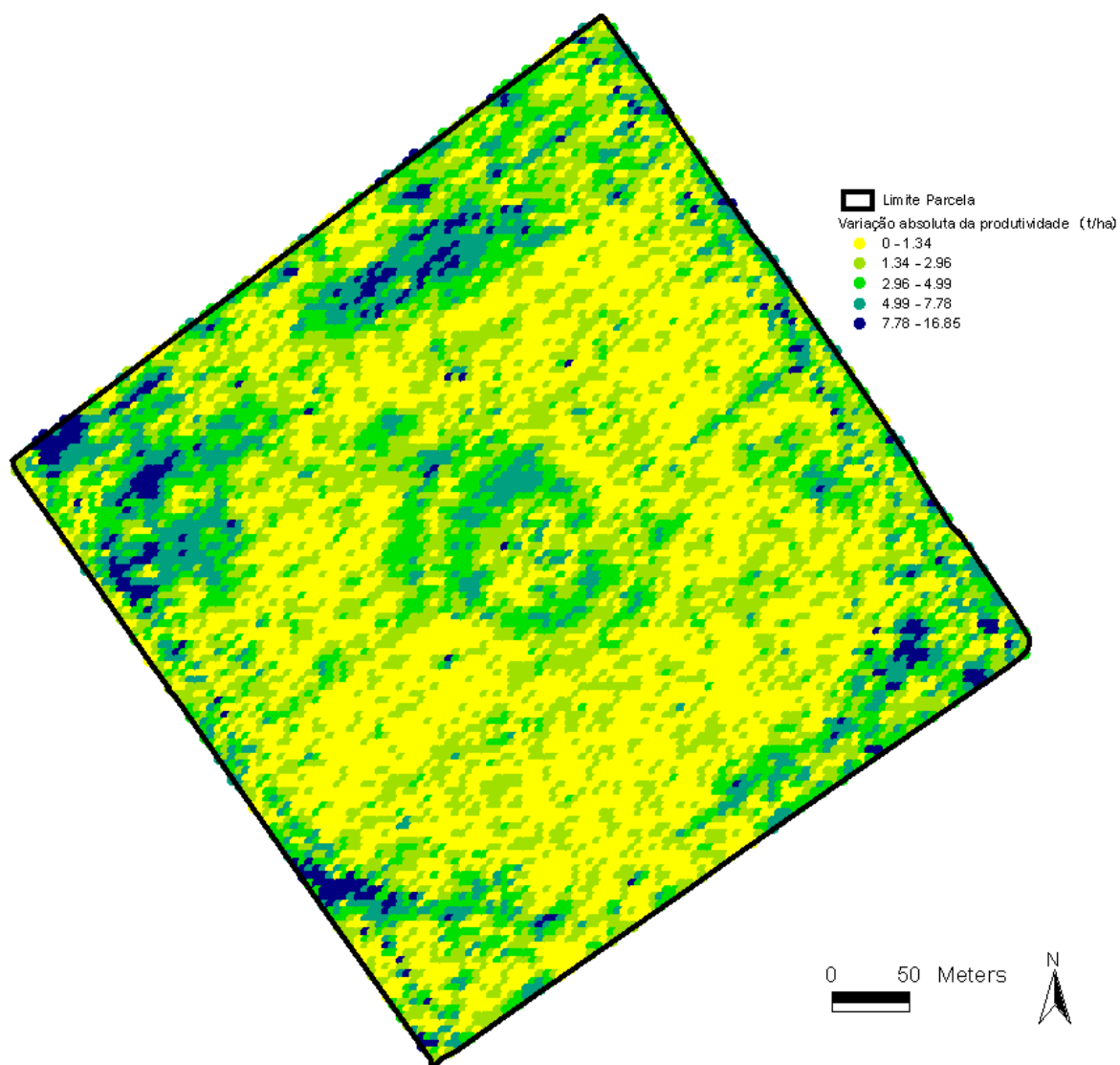


Figura 48 - Carta da variação absoluta da produtividade entre os anos de 2010 e 2011.

Resolução espacial de 4,5 m. Classificação por “natural breaks”.

5.3.7 Análise de impacto da variabilidade

No sentido de auxiliar ao diagnóstico da variabilidade espacial da produtividade e suas causas, se possível com a antecedência suficiente para ainda actuar na própria campanha, foram obtidas imagens aérea no visível (Fig. 50) e infra-vermelho próximo (Fig. 51) no dia 22 de Julho de 2011. Esta data coincidiu com o início da floração da cultura. Por manipulação das imagens foi ainda possível obter um compósito de falsa-cor (Fig. 52) assim como a carta de NDVI (Fig. 53).

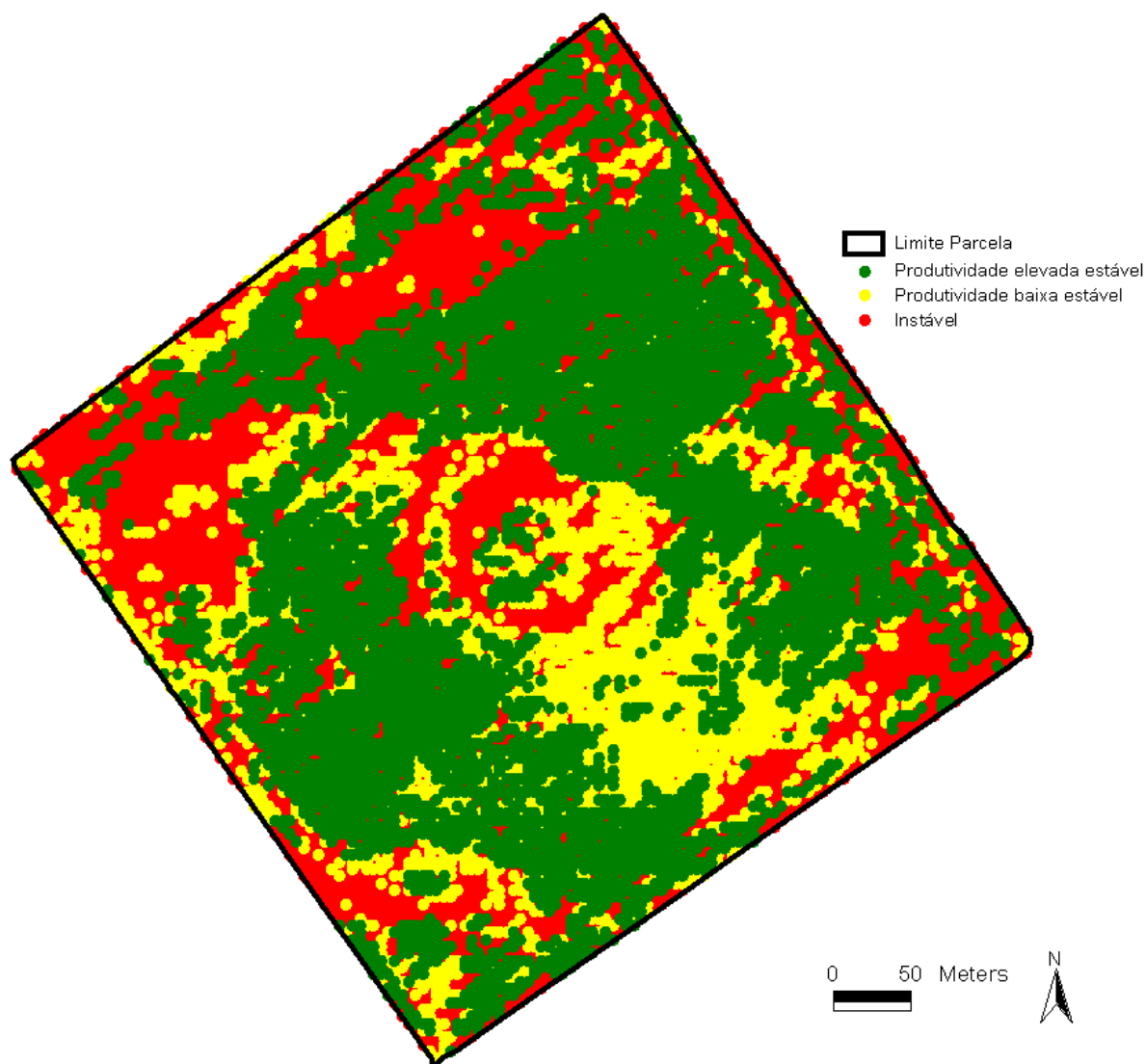


Figura 49 – Carta de classificação resultante da análise espaço-temporal para os anos de 2010 e 2011.

É notória a coincidência entre as zonas mais produtivas em 2011 e: (1) as zonas de tonalidade mais verde na imagem no visível; (2) as zonas de tonalidade mais cinzenta na imagem de infravermelho próximo; (3) as zonas de tonalidade mais vermelha no compósito de falsa cor; e (4) mais verde na carta de NDVI. Pelo contrário, as zonas menos produtivas (zonas de areia, algumas zonas dos cantos com rega fixa, a zona em que se verificou o problema na rega, etc) coincidem com: (1) as zonas de tonalidade menos verde na imagem no visível; (2) as zonas de tonalidade mais branca na imagem de infravermelho próximo; (3) as zonas de tonalidade menos vermelha no compósito de falsa cor; e (4) mais azul na carta de NDVI.

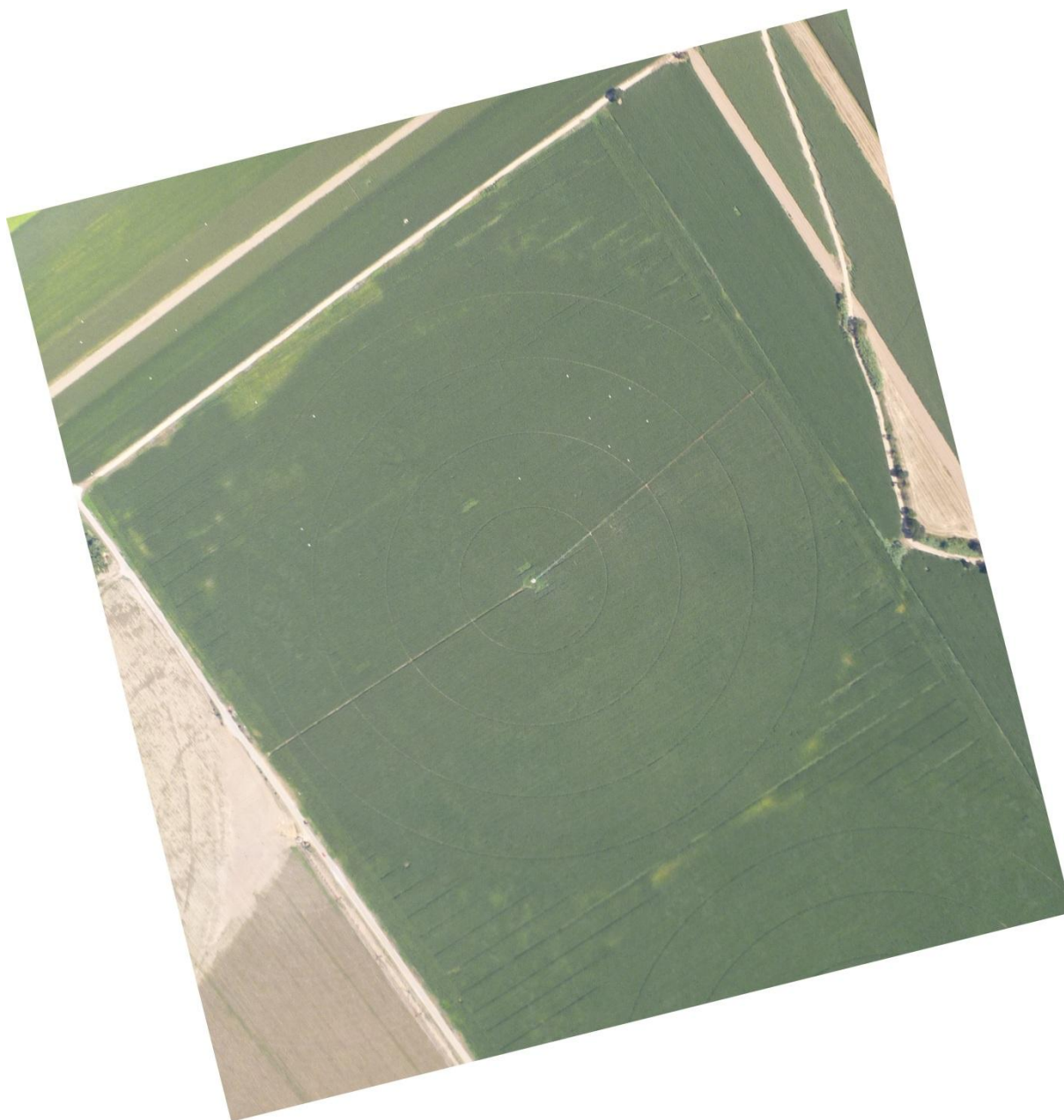


Figura 50 – Imagem aérea no visível obtida no dia 22 de Julho de 2011

Resolução espacial 10 cm. Orientação N para cima. Comprimento da rampa: 85,4 m.

Sabendo que a imagem foi obtida em Julho ou seja a cerca de 2 meses da colheita, torna-se extremamente relevante este tipo de ferramentas para diagnosticar atempadamente problemas na cultura e actuar no sentido de os resolver para evitar perdas de produtividade e margem bruta desnecessárias.

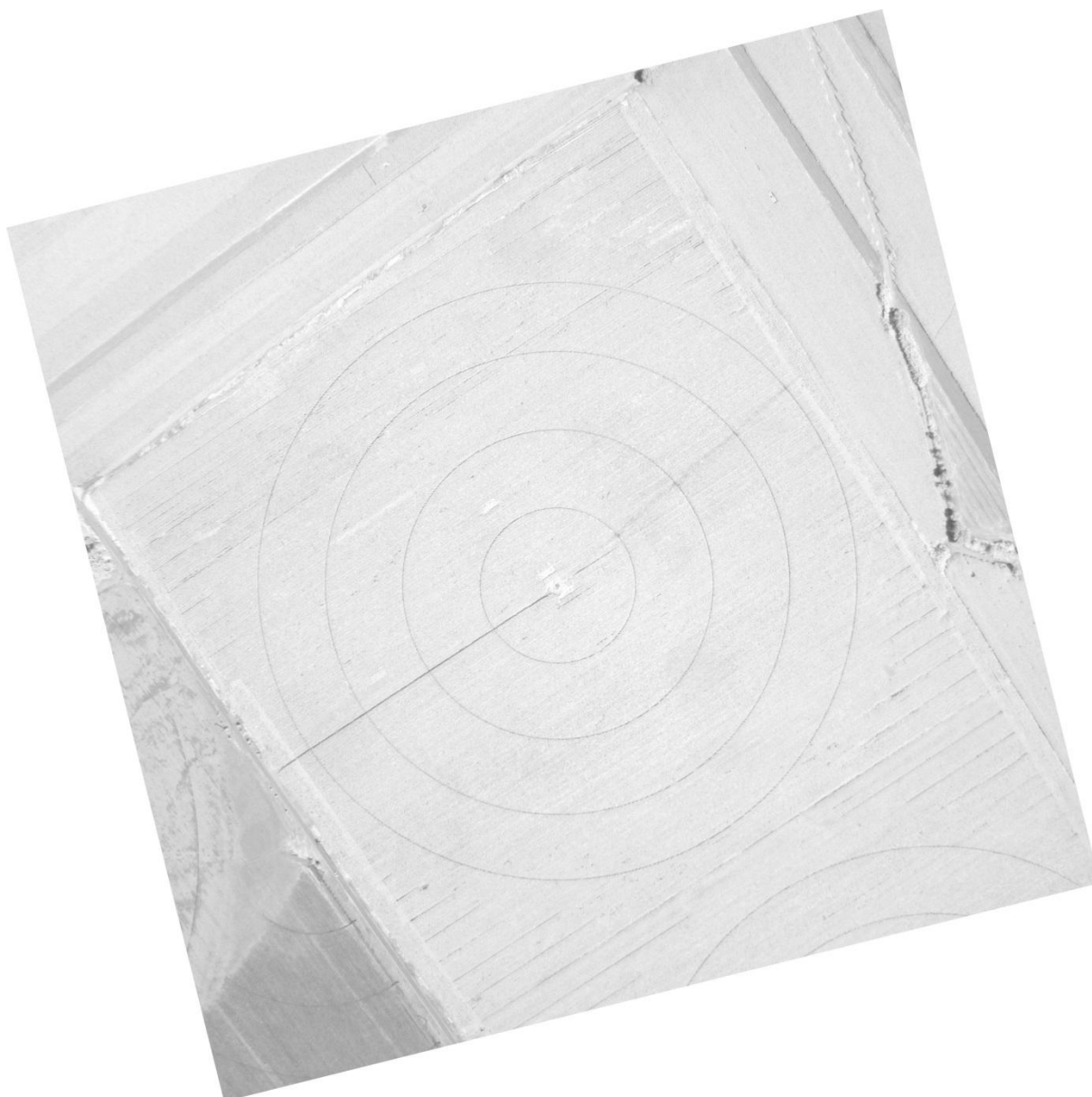


Figura 51 - Imagem aérea no infravermelho próximo obtida no dia 22 de Julho de 2011
Resolução espacial 10 cm. Orientação N para cima. Comprimento da rampa: 85,4 m.

A carta de NDVI foi utilizada para marcar 3 zonas contrastantes: 1 – NDVI baixo; 2 – NDVI intermédio e 3 – NDVI elevado (Fig. 54) que foram amostradas para determinação dos componentes de produtividade e análise do crescimento da cultura.

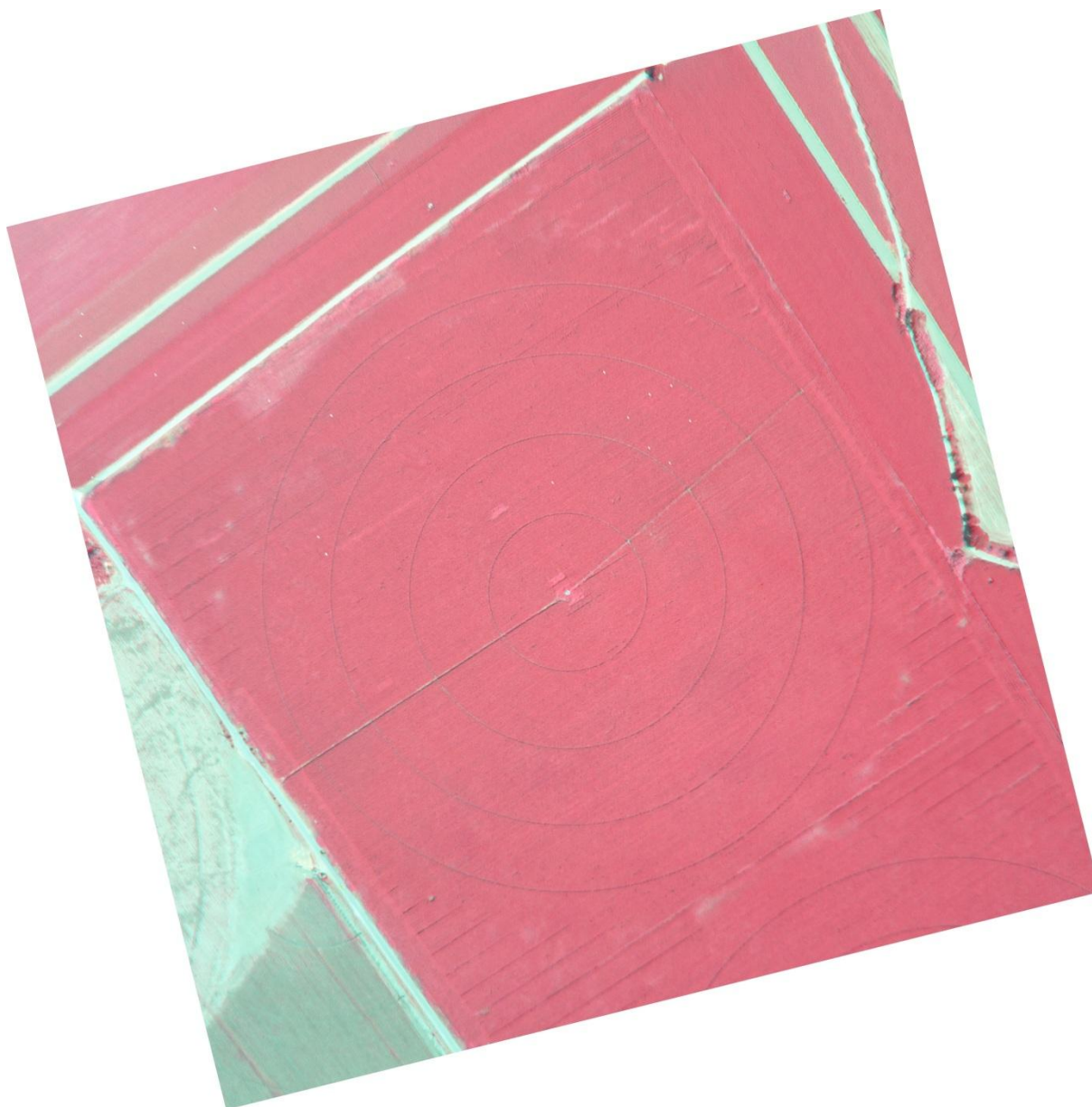


Figura 52 - Imagem aérea de falsa-cor obtida no dia 22 de Julho de 2011
Resolução espacial 10 cm. Orientação N para cima. Comprimento da rampa: 85,4 m.

Os valores dos componentes de produtividade e análise de crescimento encontram-se resumidos no quadro 7.

A tendência crescente de NDVI no sentido zona 1 – zona 2 – zona 3, encontra eco, por exemplo, no peso de caule+folhas por unidade de área e no peso de mil grãos.

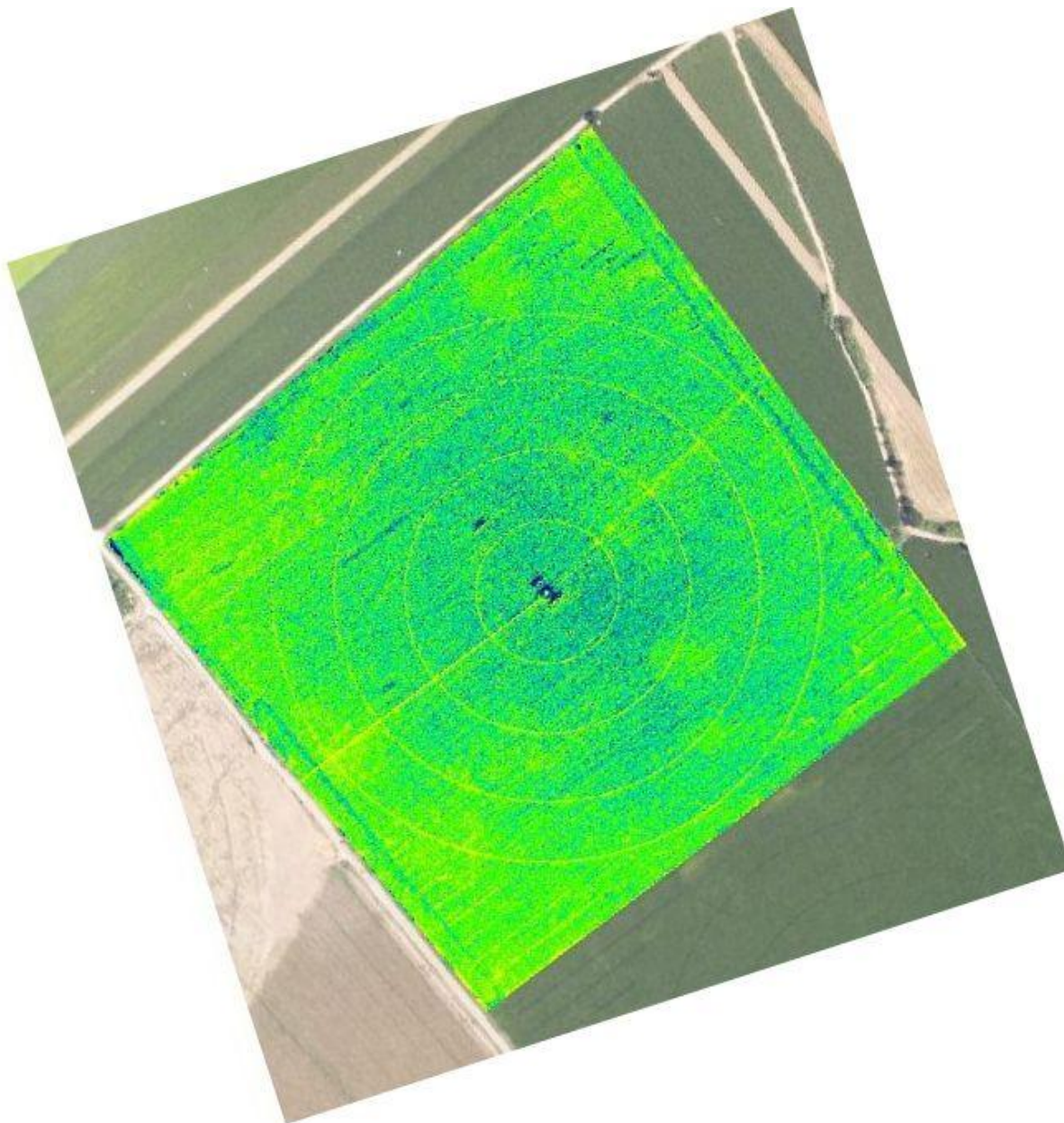


Figura 53 - Carta NDVI obtida no dia 22 de Julho de 2011.

Resolução espacial 10 cm. Orientação N para cima. Comprimento da rampa: 85,4 m. Legenda: A tonalidade verde para cultura em melhor estado vegetativo e azul em pior estado vegetativo.

As diferentes formas de valorização das cartas de produtividade utilizadas, desde a estatística descritiva da variabilidade, passando pela interpretação dos padrões de variabilidade, pelas cartas de produtividade relativa, pelas cartas de margem bruta, assim como pela análise espaço-temporal e de impacto da variabilidade, fornecem ao gestor agrícola uma mais valia muito significativa no sentido de otimizar a gestão das suas parcelas.

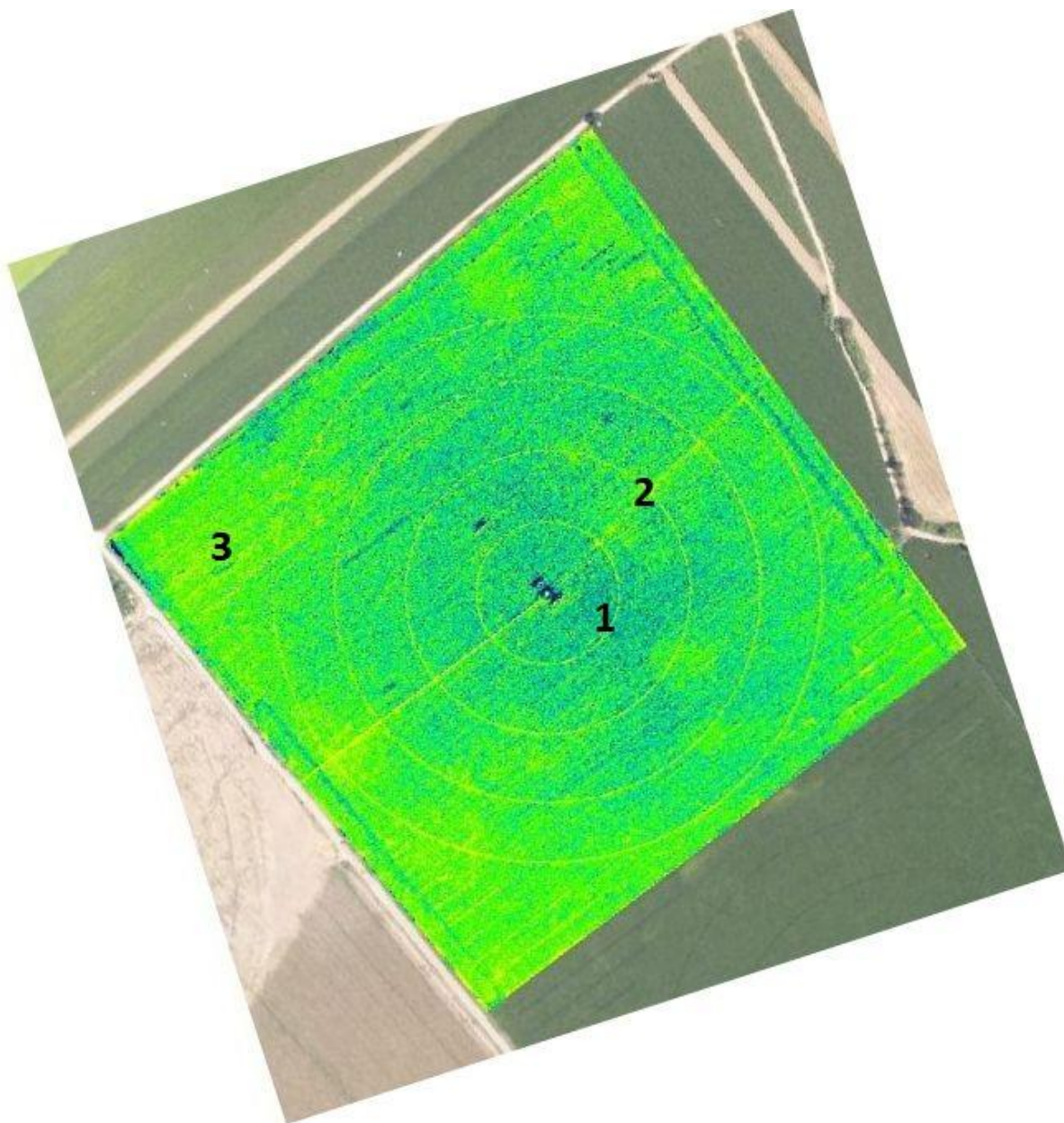


Figura 54 - Carta NDVI obtida no dia 22 de Julho de 2011 com as marcações dos pontos de “ground truth”.

Resolução espacial 10 cm. Orientação N para cima. Comprimento da rampa: 85,4 m. Legenda: A tonalidade verde para cultura em melhor estado vegetativo e azul em pior estado vegetativo

As diferentes ferramentas testadas tornam-se tão mais interessantes do ponto de vista da actuação agronómica, quanto possam ser utilizadas com antecedência suficiente para permitir ao gestor actuar na mesma campanha e assim evitar ou atenuar quebras de produtividade e margem bruta.

No entanto, na impossibilidade de actuar na mesma campanha, as análises efectuadas têm com certeza um interesse relevante na gestão eficaz e eficiente das explorações agrícola.

Após avaliação económica, técnica e logística, a optimização da gestão das parcelas poderá passar pela aplicação diferenciada dos factores de produção com recurso às tecnologias VRT. Para esse efeito é importante numa primeira fase identificar zonas de manejo homogéneo.

No caso concreto da parcela analisada, e com a ressalva de não se ter efectuado uma análise profunda dos solos, parece-nos que o principal factor a contribuir para a variabilidade espacial da produtividade e, por conseguinte, as significativas perdas de margem bruta, é a rega e a água no solo.

Será necessário monitorizar o funcionamento do equipamento, em particular a rega fixa, assim como garantir que as zonas de solos mais arenosos estão a receber a dotação de rega adequada, em particular nas fases fenológicas mais sensíveis.

Existem no mercado soluções de rega de precisão para pivot que seria interessante avaliar a sua aplicabilidade numa parcela como a estudada. Para isso, o passo seguinte seria o estudo aprofundado dos solos, nomeadamente, quanto à taxa de infiltração e capacidade de retenção (textura e profundidade).

Quadro 7 – Componentes de produção e análise de crescimento para as zonas amostradas (3 m²) segundo a carta de NDVI.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Nº Total de Plantas	23	28	24
Nº Plantas /m²	7,7	9,3	8
Nº Total de Espigas	24	28	24
Nº Espigas /planta	1,04	1	1
Peso Caule+Folhas (g/m²)	825,6	875,6	1008,8
Peso Carolo+Grãos (g/m²)	2049,83	2218,8	2006,37
Nº Grãos/m²	4799	4898	4749
Peso Grãos (g/m²)	1690,87	1787,23	1732,23
Peso Carolo (g/m²)	243,27	256,57	212,47
Nº Grãos/Espiga	600	525	594
Peso Mil Grãos (g)	352,34	364,86	364,76

6. Conclusões

A promessa da agricultura de precisão é possibilitar a um gestor agrícola gerir grandes áreas de cultura com o detalhe de quem gere uma horta ou seja gerir de forma eficaz e eficiente os recursos como só uma horta, em resultado da pequena dimensão, o permite. Este desígnio é extremamente oportuno no actual contexto das explorações agrícolas: produzir muito, com qualidade, a baixo custo e de forma ambientalmente sustentável.

Este trabalho dedicou-se ao estudo de um dos recursos base da agricultura de precisão: a carta de produtividade. Para que esta preciosa ferramenta se torne uma peça chave no processo de tomada de decisão, é necessário que a sua utilização seja correcta i.e. em primeiro lugar, que a carta de produtividade se apresente fidedigna e livre dos principais erros, e em segundo lugar, que a(s) carta(s) possa(m) ser manipulada(s) de forma a extrair dela(s) o máximo valor acrescentado possível.

Actualmente, a maior parte dos prestadores de serviços que oferecem a monitorização da produtividade, proporcionam cartas de produtividade com reduzido valor acrescentado. Em primeiro lugar, os softwares dos fabricantes oferecem, regra geral, poucas opções para a eliminação de erros, alguns deles inevitáveis mesmo com os operadores mais experientes. Em segundo lugar, por falta de tempo ou mesmo conhecimento, o serviço limita-se a fornecer a carta de produtividade sem qualquer grau de manipulação ou posterior assessoria.

Nesta tese investigaram-se métodos baseados em filtros para a eficaz eliminação dos principais erros existentes nos dados de monitorização das culturas. Os sucessivos filtros aplicados foram capazes de, ao eliminar cerca de 20 a 30% dos dados originais portadores de algum tipo de erro, permitir a construção de uma carta de produtividade mais correcta, fidedigna e com melhor grau de dependência espacial. Este passo é essencial para se poder utilizar uma carta de produtividade num processo de decisão.

Posteriormente, as cartas corrigidas encerram um potencial que deve ser explorado para que se tire delas o maior valor acrescentado possível. Assim, existem diversas operações de valorização das cartas de produtividade, desde a estatística descritiva da variabilidade, passando pela interpretação dos padrões de variabilidade, pelas cartas de produtividade relativa, pelas cartas de margem bruta, assim como pela análise espaço-temporal e de impacto da variabilidade que fornecem ao gestor agrícola uma mais-valia muito significativa no sentido de otimizar a gestão das suas parcelas.

Após avaliação económica, técnica e logística, a optimização da gestão das parcelas poderá passar pela aplicação diferenciada dos factores de produção com recurso às tecnologias

VRT sendo para esse efeito importante, numa primeira fase, a identificação de zonas de manejo homogéneo

7. Bibliografia

- ANPROMIS. 2012. <http://www.anpromis.pt/> - institucional da Associação Nacional de Produtores de Milho e Sorgo (consultado a 11/01/2012).
- Arslan, S. e Colvin T.S. 2002. Grain yieldmapping: Yield sensing, screening algorithms and criteria. Frequency statistics, yield reconstruction, and errors. Precision Agriculture. 3:135–154.- citado por Simbahan, G. C., Dobermann A., e Ping, J. L. 2004
- Basso, B., J.T. Ritchie, F.J. Pierce, R.P. Braga, e J.W. Jones. 2001. Spatial validation of crop models for precision agriculture. Agricultural Systems., pp. 68:97–112.
- Beck, A.D., Roades, J.P. e Searcy. S.W., 1999. Post-process filtering techniques to improve yield map accuracy. ASAE paper no. 99– 1048. ASAE, St. Joseph, MI. Citado por Simbahan, G. C., Dobermann A., e Ping, J. L. 2004.
- Bennetzen, J e Hake, S. (Eds.). 2008. Handbook of Maize:. Its biology., Springer. pp. 600.
- Bennetzen, J e Hake, S. (Eds.). 2009. Handbook of Maize. Genetics and Genomics, Springer. pp. 800.
- Bernardi, A., Gimenez, L., Machado, P. e Silva, C., 2004. Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto: Aplicação de Fertilizantes a Taxas Variáveis, EMBRAPA, Rio de Janeiro, pp153-164.
- Bernardi, J.V.E. e LANDIM, P.M.B. 2002. Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 10, 31 pp.
- Birrell, S. J., Sudduth, K. A. e Borgelt, S. C. 1996. Comparison of yield sensors and techniques for crop yield mapping. Computers and Electronics in Agriculture 14, 215–233.

- Blackmore, B.S. e Moore, M., 1999. Remedial correction of yield map data. *Precision Agriculture*. 1:53–66.
- Blackmore, B. S. e Marshall, C. J. 1996. Yield mapping: errors and algorithms. In: *Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture*, edited by P. C. Robert, R. H. Rust e W. E. Larson (MN, USA), p. 403–416.
- Blackmore, S. 2000. The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and electronics in agriculture* 26: 37-51.
- Blackmore, S. Godwin R J e Fountas S. 2003. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Biosystems Engineering* 84: 455–466.
- Bongiovanni, R. e Lowenberg-Deboer, J., 2004. Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture*, Dordrecht, v. 5, n. 3, p. 359-387. Citado por Bernardi, A. et al., 2004.
- Braga, R., 2009a. Obtenção, preparação e análise prévia de mapa de produtividade na cultura do milho. In *Agricultura de Precisão*. (J. P. Coelho e J. R. Silva). *Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola*, AJAP, Lisboa, pp. 73-91.
- Braga, R., 2009b. Viticultura de precisão: um caso particular de agricultura de precisão. In *Viticultura de Precisão*. (R. Braga). *Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola*, AJAP, Lisboa, pp. 3-22.
- Braga, R. 2009c. Base de funcionamento e casos de estudo de VRT: Gestão intra-parcelar da densidade de plantas e taxa de aplicação de fertilizantes. In *Agricultura de Precisão*. (J. P. Coelho e J. R. Silva). *Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola*, AJAP, Lisboa, pp. 54 – 72.
- Braga, R e Aguiar Pinto, P. 2012. Agricultura de precisão: adoção e principais obstáculos. *Agrotec* n1: 84-89. Jan 2012
- Bramley, R.G.V. e Hamilton, R.P. 2004. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 10 32–45

- Castelo, R. 2009. Análise das tecnologias utilizadas na cultura do milho na Lezíria de Vila Franca de Xira. Estudo de caso. Dissertação de mestrado, ISA-UTL, Lisboa.
- Clark, R.L. e McGucken, R.L. 1996. Variable rate application technology: An overview. Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture. Minneapolis, MN, June 23-26, 1996. Robert, P. C., Rust, R. H. e Larson, W. E. (Eds.). ASA Miscellaneous Publications, ASA, CSSA, e SSSA, Madison, WI, pp. 651-662.
- Coelho; J.C., Mira da Silva, L.; Tristany, M., Castro Neto, M. e Aguiar Pinto, P., 2004. Agricultura de Precisão. Lisboa. 106 pp.
- Coelho, A. 2005. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Documento 46, Embrapa, Sete Lagoas, MG, Brasil.
- Coelho, J. P., Silva, L. M., Pinheiro, A. C., Tristany, M. e Neto, M. C., 2009. Agricultura de precisão. In Agricultura de Precisão. (J. P. Coelho e J. R. Silva). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola, AJAP, Lisboa, pp 2-31.
- Contradanças, C. C. 2008. Agricultura de Precisão: Obtenção e análise do mapa de produtividade na cultura do milho. Relatório de Estágio do Curso de Licenciatura em Engenharia Agrónómica, Escola Superior Agrária de Elvas, Elvas.
- Dingemans, M. J. 1997. The practical implementation of precision farming for European agriculture. In: First European Conference on Precision Agriculture, Vol.II: Technology, IT and Management, edited by J. V. Stafford (UK), p. 727–733.
- Dobermann, A. e Ping, J. 2004. Precision Agriculture: Geostatistical Integration of Yield Monitor Data and Remote Sensing Improves Yield Maps, Agronomy Journal, vol. 96, January–February, pp. 285-297.
- Figueira, T. 1997. A cultura do milho nas regiões da Golegã e Chaves: Estudo dos sistemas de produção e análise económica e social da cultura. Dissertação de mestrado, ISA-UTL, Lisboa.

- García, F. s.d.. Benefícios potenciais del uso de las herramientas de Agricultura de precisión en el diagnóstico y aplicación de fertilizantes.
- Girardin, P. 1999 .Écophysiologie du maïs, éd. AGPM, Montardon, pp. 323.
- GPP. 2007. Culturas arvenses: Diagnóstico sectorial. MADRP, Lisboa pp. 55
- Han, S., Hummel, J.W., Goering, C.E. e Cahn, M.D. 1994. Cell size for site-specific crop management. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.37, n.1, p.19-26, jan./fev. Citado por Stabile, M e Balastreire, L. 2006.
- Jensen, J. R. 2007, Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, 2nd Ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, pp. 592.
- Kleinjan, J., Chang, J., Wilson, J., Humburg, D., Carlson, G., Clay D., e Long, D. 2002. Cleaning yield data [Online]. Available at <http://plantsci.sdstate.edu/precisionfarm/Publications.htm>. South Dakota State Univ., Brookings.
- Isaaks, E. H., e Srivastava, R. M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York, 561 pp.
- Johannsen, C. J., Baumgardner, M. F., Willis, P. R., e Carter, P. G., 1998. Advances in remote sensing technologies and their potential impact on agriculture. Proceedings of the First International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, 1–3 June 1998, Lake Buena, FL , USA (Lake Buena, FL: Veridian), p. 1348. Citado por Thenkabail, P. S. 2003.
- Jones, D. e Barnes, E. M. 2000. Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management. *Agricultural Systems*, 65, pp 137–158.
- Jones, C.A. e Kiniry J.R. Ceres-Maize: 1986. A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas a & M Univ Pr. pp.194.

- Lillesand, T.M. e Kiefer, R.W. 1994. Remote sensing and image interpretation. Wiley & Sons, pp. 750.
- Machado, P. e Bernardi, A. e Silva, C. 2004. Agricultura de Precisão para o Manejo da Fertilidade do Solo em Sistema Plantio Direto. Rio de Janeiro.
- Major, D.G., Schaalje, G.B., Asrar, G. e Kanemasu, E.T. 1986. Estimation of whole-plant biomass and grain yield from spectral reflectance of cereals. Can. J. Remote Sens. 12:47–54. Citado por Dobermann, A. e Ping, J..
- Marques da Silva, J. R. e Garcia, F.J. M. 2002. Agricultura de precisão, a agricultura da era planetária. Actas do XIV Congresso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España, 5-7 de Junho.
- Marques da Silva J.R. 2006. Analysis of the Spatial and Temporal Variability of Irrigated Maize Yield. Biosystems Engineering 94 337–349
- McBratney, A. B., Whelan, B. M., Taylor, J. A. e Pringle, M. J. 2000. A management Opportunity Index for Precision Agriculture. In Robert, P. C.; Rust, R. H.; Larson, W. E. (Eds) Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, Minnesota, USA, 16-19 July.
- Menegatti, L. A. e Molin, J.P. 2003. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.367-374.
- Molin, J. 2010. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão, UFRRJ, Rio de Janeiro.
- Moran, S. M., Maas, S. J. e Pinter, P. J. 1995. Combining remote sensing and modeling for estimating surface evaporation and biomass production. Remote Sensing Reviews, 12, pp. 335–353. Citado por Thenkabail, P. S. 2003.
- Moore, M. 1998. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management, Cranfield: Cranfield University, p. 379. PhD Thesis.
- Mulla, D.J., Bhatti, A.U., Hammond, M.W. e Benson, J.A. 1992. A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer

management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 301-311. Citado por Bernardi, A. et al., 2004.

Mulla, D.J., Schepers, J.S. 1997. Key processes and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F.J., SADLER, E.J. (Eds.). *The state of site-specific management for agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 1-18. Citado por Bernardi, A. et al. 2004.

Noack, P.H., Muhr, T. e Demmel, M. 2003. An algorithm for automatic detection and elimination of defective yield data. p. 445–450. In J.V. Stafford and A.Werner (Ed.) *Precision agriculture*. Wageningen Academic Publ., Wageningen, the Netherlands. Citado por Simbahan, G. C., Dobermann A., e Ping, J. L. 2004.

Otegui, M e Slafer G. 2000. *Physiological bases for maize improvement*. Haworth Press. pp. 217

Pelletiera, G. e Upadhyayab, S. K. 1999 Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture* 23:103–117.

Ping J. L. e Dobermann A. 2005. Processing of Yield Map Data. *Precision Agriculture* 6: 193–212.

Pinto, I. 2009. *Introdução aos sistemas de informação geográfica (SIG). Curso de Introdução á Georreferenciação de CH&C*, Instituto de Investigação científica Tropical, Lisboa.

Ribeiro, C.A.A.S., Varella, C.A.A., Sena JR., D.G. e Soares, V.P. 2000. *Sistemas de Informações Geográficas*. In: *Agricultura de Precisão*, Viçosa, MG.

Robert, P.C. 1993. Characterization of soil conditions at the field level for soil specific management. *Geoderma*, Amsterdam, v. 60, n. 1, pp. 57-72. Citado por Bernardi, A. et al. 2004.

Searcy, S. W. 1997. *Precision Farming: A New Approach to Crop Management*, Texas Agricultural Extension Service, The Texas A&M University System, College Station, TX

- Seelan, S.K., Laguet, S., Casady, G. e Seielstad, G. 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*. 88: 157–169.
- Serrano, J. M. P. R. e Peça, J. M. N. O. 1996. Agricultura de Precisão. Da Cartografia dos Rendimentos a um Novo Conceito de Gestão Agrícola. *Ingenium*, 2ª Série, Nº 11, Ago/Set 96: 66-70.
- Serrano, J. M. P. R. e Peça, J. M. N. O. 2009. Novas Tecnologias na distribuição diferenciada de fertilizantes em pastagens: o fechar de um ciclo em agricultura de precisão. . In *Agricultura de Precisão*. (J. P. Coelho e J. R. Silva). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola, AJAP, Lisboa, pp. 54 – 72.
- Shanahan, J.F., J.S. Schepers, D.D. Francis, G.E. Varvel, W.W. Wilhelm, J.M. Tringe, M.R. Schlemmer, e D.J. Major. 2001. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agron. J.*, pp. 93:583-589. Citado por Dobermann, A. e Ping, J. 2004.
- Shearer, S.A., Higgins, S.G., McNeill, S.G., Watkins, G.A., Barnhisel, R.I., Doyle, J.C., Leach, J.H., e Fulton, J.P. 1997. Data filtering and correction techniques for generating yield maps from multiple-combine harvesting systems. ASAE paper no. 97-1034. ASAE, St. Joseph, MI. Citado por Simbahan, G. C., Dobermann, A., e Ping, J. L.. 2004.
- Simbahan, G. C., Dobermann, A. e Ping, J. L., 2004. Site-Specific Management: Screening Yield Monitor Data Improves Grain Yield Maps, *Agronomy Journal*, Vol. 96: 1091-1102.
- Swinton, S.M. e Lowenberg-Deboer, J., 1998. Evaluating the profitability of site-specific farming. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 11, p. 439-446. Citado por Bernardi, A. et al., 2004.
- Stabile, M e Balastreire, L. 2006. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.26, n.1, p.215-223, jan./abr. 2006

- Sudduth K. A. e Drummond S. T. 2007. Yield Editor: Software for Removing Errors from Crop Yield Maps. *Agron. J.* 99:1471–1482.
- Thomas,D.L, Perry, C. D., Vellidis, V, Durrenre, J. S. Kutz, L .J. Kvien, C. K. Boyde, B. e Hamrita, T. K. 1999. Development and implementation of a load cell yield monitor for peanut. *Applied Engineering in Agriculture.* 15: 211-216.
- Thenkabail, P. S. 2003. Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical Landsat TM images, *International Journal of Remote Sensing*, pp. 24:14, 2879-2904.
- Thylen, L., Jurschik, P. e Murphy, D. P. L. 1997. Improving the quality of yield data. In: First European Conference on Precision Agriculture, Vol.II: Technology, IT and Management, edited by J. V. Stafford (UK), p. 743–750.
- Thylen, L., P.A.Algerbo, e A. Giebel. 2001. An expert filter removing erroneous yield data. In P.C. Robert et al. (Ed.) *Precision agriculture* [CD-ROM]. Proc. Int. Conf., 5th, Minneapolis, MN 16–19 July 2000. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI..
- Vieira, S. R., 2000. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BORÉM, A. et. al. (Ed.). *Agricultura de precisão*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, pp.93-108.
- Vieira, S.R., Hatfield, T.L., Nielsen, D.R. e Biggar, J.W., 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, 51: 1-75. Citado por Vieira, S. R., 2000.
- Whelan, B.M. e McBratney, A.B., 2000. The “null” hypothesis of precision agriculture management. *Precision Agriculture* 2: 265-279.
- Wollenhaupt, N. C., Wolkowski, R. P. e Clayton, M. K., 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 7, p. 441-448. Citado por Bernardi, A. et al., 2004.
- Werner, V., 2004. Utilização de recursos de agricultura de precisão na geração de mapas de atributos, mapas de produtividade e aplicação de insumos a taxas variáveis. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Wilkerson, J.B., Moody F.H e Hart W.E. 2002. Implementation and field evaluation of a cotton yield monitor. *Applied Engineering in Agriculture* 18: 153-159.